

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
Katedra částí a mechanismů strojů

**INOVACE VLÁKENNÉHO NOSIČE GRANULÁRNÍHO
ZEOLITU POMOCÍ JEDNOÚČELOVÉHO STROJE**

**INNOVATION OF FIBROUS GRANULAR ZEOLITE
CARRIER USING SINGLE-PURPOSE MACHINE**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Ondřej Novák

Květen 2015

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
Katedra částí a mechanismů strojů

Program: N2301- Strojní inženýrství
Obor : 3909T010 – Inovační inženýrství
Zaměření: Inovace výrobků

**INOVACE VLÁKENNÉHO NOSIČE GRANULÁRNÍHO
ZEOLITU POMOCÍ JEDNOÚČELOVÉHO STROJE**

**INNOVATION OF FIBROUS GRANULAR ZEOLITE
CARRIER USING SINGLE-PURPOSE MACHINE**

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petrů Michal, Ph.D., TU v Liberci, KST
Konzultant diplomové práce: Ing. Havlíček Jiří, CSc.

Počet stran: 71
Počet obrázků: 47
Počet tabulek: 10
Počet výkresů: 21

Květen 2015

Místo pro vložení originálního zadání DP

INOVACE VLÁKENNÉHO NOSIČE GRANULÁRNÍHO ZEOLITU POMOCÍ JEDNOÚČELOVÉHO STROJE

Anotace

Překládaná diplomová práce se zabývá konstrukčním řešením inovovaného zařízení pro výrobu obvazového materiálu obsahujícího částice granulárního zeolitu. První část práce se zabývá možnými řešeními daného problému, přičemž je využito vepolové analýzy a metody TRIZ. Na základě získaných informací je proveden návrh vlastních řešení ve formě konceptů a výběr nejvhodnější varianty pomocí rozhodovacích tabulek s váhovými kritérii. Vítězný koncept je vytvořen v podobě 3D modelu. Navržený model je detailně popsán jak z pohledu samotného konstrukčního řešení tak i souladu návrhu s metodami DFX. Na základě zjištění plynoucích z FMEA-K a modálních analýz konstrukce byly navrženy optimalizace konstrukčního řešení. Pro optimalizovaný model je vytvořena kompletní výkresová dokumentace zařízení, zhodnoceny jsou technické parametry a nákladové parametry zařízení včetně kalkulace konstrukčních materiálů, pohonů a dalších komponent nutných pro zhotovení zařízení. Posouzen je taktéž přínos inovovaného zařízení. Výsledkem diplomové práce je konstrukční návrh inovované zařízení určené pro výrobu vláknenného nosiče granulárního zeolitu.

Klíčová slova: TRIZ, vepol, zeolit, distanční pletenina, granulární materiál, vibrace, jednoúčelový stroj, modální analýza, MKP

INNOVATION OF FIBROUS GRANULAR ZEOLITE CARRIER USING SINGLE-PURPOSE MACHINE

Annotation:

The thesis deals with the structural design of innovated machine for a production of wound dressing containing zeolite granular particles. The first part uses vepol analysis and TRIZ method for a finding of the possible solution of the problem. Further the design of own solutions in the form of concepts with a selection of the best solution using decision tables with weighting criteria is done. Winning concept is designed as a 3D model that is described in detail in term of structural solution. It is also described how the design meets the principles of DFX methods. On the basis of the findings of FMEA-K and modal analysis of the construction optimizations were designed. For the optimized model is created complete drawing documentation of the device. Also technical characteristics, costs of individual parts of devices including the construction materials, actuators and other components required for manufacturing the device are performed and evaluated. It also assessed the contribution of innovated equipment. The result of this thesis is the structural design of innovated single-purpose devices designed for the production of fibrous carrier containing granular zeolite.

Keywords: TRIZ, vepol, zeolite, spacer knitted fabric, granular material, vibrations, single-purpose machine, modal analysis, FEM

Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne

podpis.....

Poděkování

Mé poděkování patří Ing. Michalu Petrů, Ph.D za odborné vedení i pomoc během studia. Dále děkuji firmě Batist, která umožnila řešit tuto zajímavou problematiku všem, kteří při vzniku diplomové práce přispěli radou či kritikou.

SYMBOLY, NÁZVY, JEDNOTKY

t , čas.....	[s, min]
p_d , poměr rychlostí otáčení navíjecího hřídele	[mm, m]
D, R , max. průměr, resp. poloměr návínů	[mm, m]
d, r , min. průměr návínů (dutinky).....	[mm, m]
l , délka návínů	[m]
δ , šířka návínů.....	[m]
h , tloušťka návínů.....	[m]
m_p , plošná hmotnost pleteniny	[g.m ⁻²]
m_g , plošná hmotnost granulátu	[g.m ⁻²]
m_d , hmotnost dutinky.....	[g]
m_{ng} , hmotnost návínů s granulátem	[kg]
n_{min}, n_{max} nejnižší a nejvyšší otáčky převodovky	[min ⁻¹]
n_m , otáčky motoru.....	[min ⁻¹]
i_{min}, i_{max} převodový poměr při nejnižších a nejvyšších otáčkách motoru.....	[-]
t_a, t_d doba akcelerace a decelerace.....	[s]
$\omega_{Lmin}, \omega_{Lmax}$ nejnižší a nejvyšší úhlová rychlost za převodovkou	[rad.s ⁻¹]
$\omega_{Lmin}, \omega_{Lmax}$ nejnižší a nejvyšší úhlová rychlost motoru	[rad.s ⁻¹]
$\alpha_{Lmin}, \alpha_{Lmax}$ nejnižší a nejvyšší úhlové zrychlení za převodovkou	[rad.s ⁻²]
$\alpha_{Hmin}, \alpha_{Hmax}$ nejnižší a nejvyšší úhlové zrychlení motoru	[rad.s ⁻²]
φ , úhlová dráha	[rad]
J_G , moment setrvačnosti návínů s granulátem	[kg.m ²]
J_T , moment setrvačnosti návínů bez granulátu	[kg.m ²]
J_d , moment setrvačnosti dutinky	[kg.m ²]
J_h , moment setrvačnosti hřídele	[kg.m ²]
J_m , moment setrvačnosti motoru	[kg.m ²]
J_{pr} , moment setrvačnosti převodovky	[kg.m ²]
J_{dor} , moment setrvačnosti dorazů	[kg.m ²]
J_p , moment setrvačnosti pružiny	[kg.m ²]
M_c , celkový moment soustavy.....	[Nm]
M_i , dílčí momenty.....	[Nm]

M_d , moment dutinky	[Nm]
M_m , moment motoru	[Nm]
M_T , moment návínů bez granulátu	[Nm]
M_n , moment navíjecí části	[Nm]
M_n , moment odvíjecí části	[Nm]
F_p , přitlačná síla	[F]
F_t , síla vyvolaná třením	[F]
f , koeficient tření	[F]
M_{nr} , M_{nD} moment od třecí síly	[Nm]
Frekvence (el. napětí, buzení...)	[Hz]
m , hmotnost	[kg]
Elektrické napětí	[V]
Příkon	[Watt]
f_0 , vlastní frekvence	[Hz]
k , tuhost	[N.m ⁻¹]

Obsah

1. Úvod.....	11
1.1. Představení úkolu a cíl práce	12
2. Plánování inovace výrobku.....	13
2.1. Inovační příležitosti	13
2.2. Inovační prohlášení.....	14
3. Analýza problému	15
3.1. Vepolová analýza	15
3.2. Metoda TRIZ	17
4. Generování konceptů	20
4.1. Varianta 1 kartáč.....	20
4.2. Varianta 2 podtlak	21
4.3. Varianta 3 transfer	22
4.4. Varianta 4 gravitace.....	23
4.5. Varianta 5 vibrace.....	24
4.6. Varianta 6 šanžírování	25
5. Výběr konceptu	26
5.1. Hodnotící kritéria.....	27
5.2. Rozhodovací tabulky	27
5.3. Hodnocení jednotlivých variant.....	30
5.4. Výběr vítězné varianty.....	34
6. Návrh pohonu.....	36
6.1. Vstupní parametry	36
6.2. Návrh převodovky	37
6.3. Ověření pohonu	39
6.4. Řízení pohonu.....	42
6.5. Pohon vibrační desky.....	43
6.6. Kinematika textilního substrátu.....	44
7. Detailní konstruování	48
7.1. FMEA-K.....	48
7.2. Modální analýza rámu	49
7.3. Popis konstrukčního řešení jednotlivých částí stroje.....	53
7.3.1. Nosná konstrukce stroje	54
7.3.2. Zásobník granulátu	54
7.3.3. Vibrační zařízení	55
7.3.4. Navíjecí zařízení.....	55
7.3.5. Podpurná deska	56

7.3.6.	Zakrytování	57
7.3.7.	Úprava vedení textilie a tlumení vibračního členu.....	58
7.3.8.	Záchytná vana	58
7.3.9.	Metody DFX	59
8.	Ekonomické zhodnocení	65
8.1.	Hodnotová analýza	65
8.2.	Celkové náklady	67
9.	Závěr	69
Literatura:		71

1. Úvod

Kvalita lékařské péče se trvale a významně zlepšuje s tím, jak dochází k využívání nových vědeckých poznatků nejen z oblasti lékařství. K úspěšné léčbě přispívají také prostředky podporující hojení, přičemž u některých ran, především chronického typu jsou takové prostředky přímo nezbytné. Mezi takové prostředky patří i speciální příkladací materiály, které obsahují zeolit syčený jódem. Výrobek je na trhu pod názvem WoundEx. Tento druh krytu obsahuje zeolito-jodový komplex, který zajišťuje adsorpčních, buněčně stimulující, hemostatické a antibakteriální vlastnosti. Zeolit je krystalický hydratovaný aluminosilikát alkalických kovů a kovů alkalických zemin. Struktura zeolitu je porézní a kanálky, které se ve struktuře zeolitu vyskytují, dosahují velmi malých průměrů. Tyto kanálky jsou díky malým rozměrům a tím i velké specifické ploše, která se uvádí dle druhu zeolitu až $1000 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, schopny sorbovat plyny, kapaliny i tuhé látky. Jeho výhodou je netoxičnost a odolnost vysokým teplotám. Využití zeolitu pro výše popsany účel lze nalézt pod patentovým číslem 20060078628 A1 Wound treating agent z roku 2006 [1]. Podstatou vynálezu je příprava zeolito-jodové složky, která se uzavře do vhodného obalu. Při výrobě se využívá adsorpčních vlastností zeolitu. Postup výroby lze zjednodušeně popsat následovně. Nejprve se zeolit suší na požadované zbytkové množství vody ve struktuře. To se provádí v horkovzdušných komorách za teplot několika násobně převyšujících teplotu varu vody při běžném atmosférickém tlaku. Protože voda je vázána i v nejmenších kanálkách, proces je časově náročný a trvá několik hodin. Přesný čas je závislý na konkrétních podmínkách sušení. Po vysušení a částečném ochlazení se zeolit uzavírá do parotěsných obalů, aby nedocházelo k opětovné sorpci vzdušné vlhkosti. Takto připravený zeolit je nyní vhodný k dalšímu zpracování, které spočívá v adsorpci jódu do struktury zeolitu. Jód je krystalická látka, která za běžných podmínek sublimuje. Syčení jódem je realizováno v uzavřené nádobě, která se naplní směsí zeolitu a granulárního jódu. Poté se začne jód uvolňovat a jeho páry jsou zachyceny zeolitem. Doba syčení je závislá na požadované koncentraci jódu a zpracovávaném množství zeolitu. Po nasycení zeolitu jódem je ještě nutné provést jeho částečnou hydrataci, které se docílí např. krátkodobou expozicí zeolitu vzdušné vlhkosti. Sorpční proces je exotermní jev, proto zvyšování obsahu vody v zeolitu je doprovázeno silným vzrůstem teploty. U zcela vysušeného zeolitu by při aplikaci na ránu či pokožku, mohla jeho teplota v důsledku sorpce vzdušné vlhkosti, potu nebo exsudátu, vzrůst až na hodnotu blízkou 200°C , což by zcela jistě způsobilo popálení a sekundární zranění. Po hydrataci následuje umístění do porézního sáčku, který je vyroben z prodyšné netkané textilie jednostranně

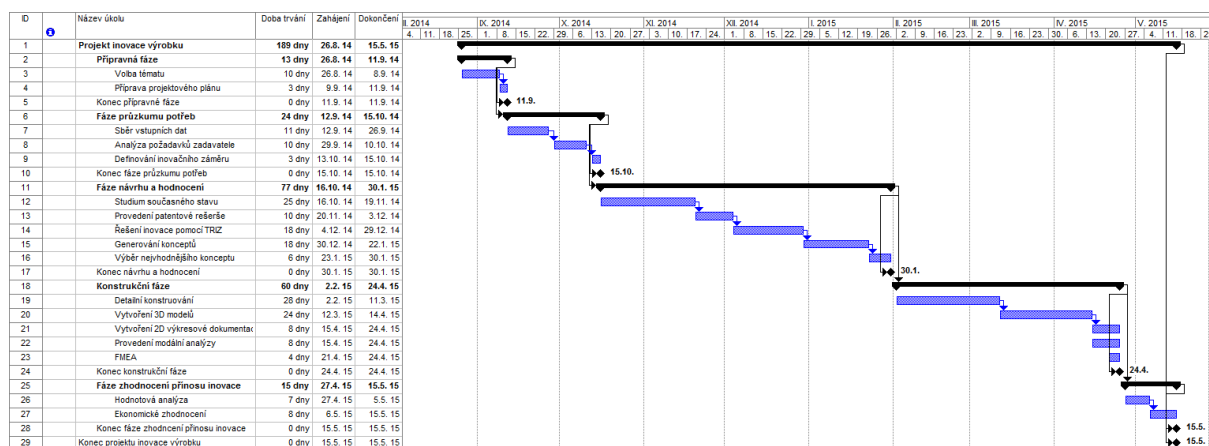
opatřené antiadhezní vrstvou pro snadné sejmutí z rány. Sáček se poté vakuově zabalí a je připraven k použití. Nevýhody současného provedení spočívají v nemožnosti sáček dále dělit a upravovat.

1.1. Představení úkolu a cíl práce

Zadavatelem tématu je společnost Batist s.r.o. se sídlem v Červeném Kostelci. Společnost Batist usiluje o trvalý rozvoj, který je podmíněn také soustavným vývojem nových produktů a sledováním trendů současné lékařské vědy především v oblasti hojení ran. Proto bylo rozhodnuto realizovat zařízení, které by umožnilo zlepšit vlastnosti stávajícího výrobku. Úkol spočívá v modifikaci vlákenného nosiče granulátu v podobě sáčku jiným vlákenným nosičem umožňujícím dělení na menší části za účelem přizpůsobení rozměru a tvaru podle velikosti rány. Tím se zvýší využitelnost materiálu i účinnost léčby, což ve výsledku může snížit náklady na léčbu. To je velmi důležité, protože léčba chronických ran, pro kterou je tento druh krytu ran primárně určen, je komplikovaná, dlouhodobá, obecně málo efektivní a proto i nákladná. **Cílem práce je inovace jednoúčelového zařízení pro výrobu nosiče obsahující granulární zeolit.** Návrh bude vycházet jednak z potřeb výrobního podniku produkujícího tento druh materiálu a současného stavu techniky a poznání. Zařízení by mělo být jednoduché na obsluhu, bezpečné, energeticky nenáročné, spolehlivé a ekonomicky přijatelné. Nezbytnou podmínkou je možnost provozování stroje v čistých prostorách.

2. Plánování inovace výrobku

Každý projekt, pokud je rozsáhlejší a je nutno sledovat plnění jeho jednotlivých částí, dosažení naplánovaných milníků při dodržení alokovaných zdrojů, je vhodné plánovat. Existuje celá řada nástrojů, jak plánování efektivně provést. Pokud je to možné, je vhodné, aby plán byl doplněn vizualizací, která umožňuje lepší kontrolu plnění [2]. K tomu může posloužit např. nástroj pro plánování a řízení projektů MS Project od společnosti Microsoft. V něm byl vytvořen Ganttův diagram (Obr. 2.1), který popisuje v čase celý proces tvorby projektu, v tomto případě diplomové práce.



Obr. 2.1: Ganttův diagram

2.1. Inovační příležitosti

Níže následuje seznam inovačních příležitostí jednoúčelového stroje pro výrobu inovovaného krytu ran:

- Stroj umožní výrobu krytu s vysokým zaplněním granulátem
- Stroj bude pracovat s nízkou spotřebou energie
- Obsluha stroje bude jednoduchá
- Stroj bude spolehlivý
- Pro obsluhu postačí jedna osoba
- Stroj umožní částečnou recyklaci aktivního materiálu
- Stroj bude přemístitelný
- Pracovní části stroje lze vizuálně kontrolovat
- Zásoba aktivní látky postačí na tvorbu celého návinu
- Stroj bude bezpečný
- Stroj nebude zdrojem prašnosti
- Stroj bude použitelný v čistých prostorech

2.2. Inovační prohlášení

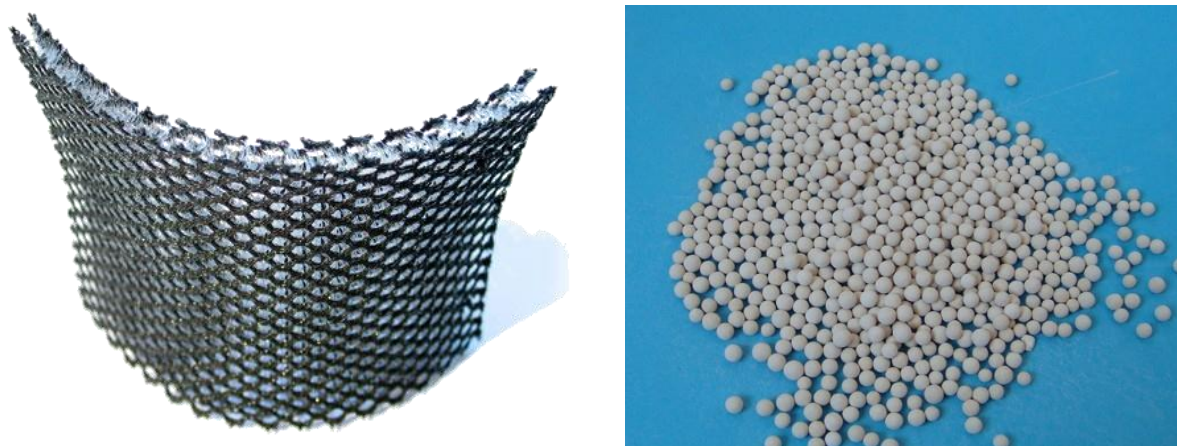
Pro řešení zadaného problému je nejprve nutné formulovat požadavky, zjistit všechny relevantní informace a na jejich základě vytvořit inovační prohlášení (Tab.2.1).

Vize výrobku (product vision statement)	Zařízení slouží k plnění porézních, především vlákněných struktur granulárním zeolitem
Klíčové obchodní cíle (key business goals)	Zařízení sloužící primárně pro účely zadávajícího podniku ekonomickým a spolehlivým provozem a jednoduchou obsluhou a údržbou.
Primární trhy (primary market)	Použití zařízení ve firmě Batist. Poté případné rozšíření pro jiné aplikace.
Sekundární trhy (secondary market)	Použití společnostmi vyrábějícími sorbenty, filtry apod. Obecně pak potravinářský, petrochemický a farmaceutický průmysl.
Předpoklady a omezení (assumptions and constraints)	Cenově dostupné zařízení, jednoduchá obsluha se snadnou údržbou.
Účastníci inovačního procesu (stakeholders)	Autor: Ondřej Novák Konzultant: Ing. Jiří Havlíček, CSc. Vedoucí práce: Ing. Michal Petrů, Ph.D.

Tab. 2.1: Inovační prohlášení

3. Analýza problému

Cílem je navrhnout vhodný koncept, který by umožňoval vpravení granulátu do povrchu textilie. Granulátem je zeolit (Obr. 3.1) o průměru 10 až 14 mm a vhodnou textilií je distanční pletenina (Obr. 3.2), která je charakteristická jedno nebo oboustranně otevřeným povrchem. Zařízení musí být umístitelné do čistých výrobních prostor a kladen je důraz na co nejvyšší efektivitu plnění, tedy do jaké míry se zaplní volné prostory textilie granulátem.



Obr. 3.1 a 3.2: Distanční pletenina a zeolitový granulát [autor]

3.1. Vepolová analýza

Název této analýzy vychází z ruského вещество (látka) a pole. Tato analýza vychází ze skutečnosti, že vzájemné fyzikální či chemické působení dvou a více látek v systému je možné jen tehdy, pokud se mezi nimi existuje nějaké pole. Působení mohou být užitečná, škodlivá nebo neutrální. Cílem je zjistit, zda v daném systému existují alespoň dvě látky a užitečně působící pole, popř. takové pole zajistit a naopak vyrušit negativně nebo neutrálně působící pole. Pole může být fyzikální, mechanické, akustické, tepelné, chemické a elektrické (MATCHEM). Látkou je míněn objekt mající objem a hmotu [3].

Studovaný systém obsahuje dvě látky – granule zeolitu a textilií. Na obě látky působí gravitační síla. Granule může vnikat do struktury pleteniny jen tak, pokud působí na pleteninu větší silou, než jakou pletenina působí proti průniku granule.

Budou hledány podmínky a způsoby jejich dosažení, za jakých granule může proniknout do struktury textilie. Obr. 3.3 definuje výchozí stav. Na obě tělesa působí gravitace a nevzniká mezi nimi žádná vazba. Pokud jednomu z těles bude zabráněno v pohybu a směr působící gravitační síly na těleso bude ve vhodném směru, budou spolu látky reagovat.

Pokud účinek gravitační síly bude větší než opačně působící síla, bude docházet k průniku granule do struktury (Obr. 3.4). Podmínkou je značně otevřená struktura pleteniny.

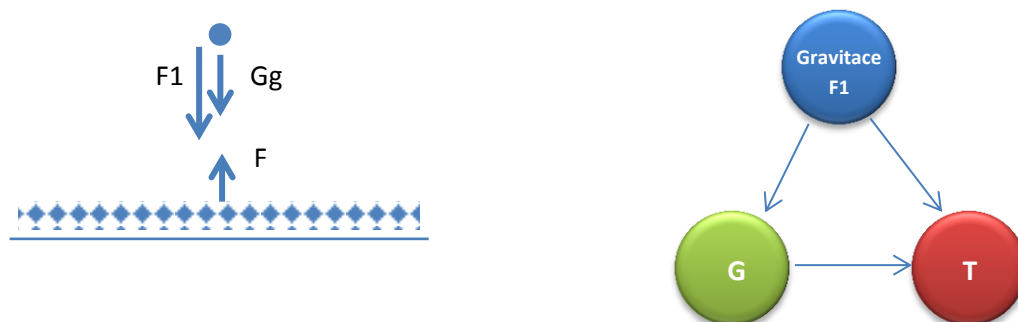


Obr. 3.3: Základní konfigurace



Obr. 3.4: Využití gravitačního pole

Je tedy vhodné působit další silou (polem) proti síle F (Obr. 3.5).



Obr. 3.5: Využití kombinace více polí

Pokud G bude menší než F , je nutné použít další síly, která účinek gravitace zvýší.

V tabulce 3.1 budou nyní popsána využití možností jednotlivých druhů polí.

Druh pole	Princip	Možné řešení	Problém
Fyzikální - gravitace	Využití gravitační síly	Rozprostření granulátu na povrch textilie	Nižší účinnost
	Urychlení částic – volný pád	Sypání na povrch textilie z určité výšky	Pružnost textilie způsobí odražení granule
Mechanické	Urychlení částic – hnací síla	Vyfukování granulí stlačeným vzduchem směrem k textili	Pružnost textilie způsobí odražení granule
		Sání na spodní straně textilie	Zajištění dostatečného podtlaku
	Působení pevného objektu na granuli	Působením tělesem na granuli překonat odpor textilie proti vniknutí	
Chemické			Nelze bez poškození jedné látek
Akustické	Vibrace látek	Rezonance	Může způsobit poškození křehkého zeolitu
Tepelné			Nelze bez poškození jedné látek
Elektrické			Látky jsou dielektrika
Magnetické			Látky nejsou magnetické

Tab. 3.1: Vepolová analýza

Z výše uvedeného vyplývá, že lze využít některá pole pro vnášení granulátu do textilie. Jako vhodné se jeví využít gravitace a dále účinků dalších polí ve formě působení pevných látek nebo plynů. Protože tento výsledek se nezdál být dostačující, bylo rozhodnuto aplikovat metodu TRIZ.

3.2. Metoda TRIZ

Triz je metoda systematického hledání řešení pomocí postupu vyvinutého G. S. Altshullerem. Jedná se o nástroj umožňující překonání technického nebo fyzikálního rozporu takovým řešením, které je obecně známé. Název metody TRIZ je odvozen z prvních písmen ruských slov Теория решения изобретательских задач, tedy volně přeloženo Teorie řešení

inovačních zadání. Princip metody spočívá v definování konkrétního problému, pro který se nalezne standardní řešení. Toto řešení je obvykle provázeno zhoršením jiného parametru – nastává rozpor. Tento parametr je nutné opět převést do zobecněné roviny. Nyní je známo, který parametr se zlepší a který naopak zhorší. Tyto parametry se vyhledají v Altschullerově tabulce tzv. 40 inovačních principů, kde v průsečíku řádků a sloupců lze nalézt vhodná existující řešení. Tato tabulka vznikla rozsáhlým průzkumem patentových databází a nalezením obecných řešení [4].

Tato metoda bude využita pro nalezení vhodného řešení při zvyšování účinnosti zařízení pro vnášení granulátu do textilní struktury. Pro vnesení granulátu do struktury je zapotřebí vynaložit určitou sílu a nelze se spolehnout pouze na vliv např. gravitace. Zlepšovaný parametr tedy bude definován jako „Síla, intenzita“, což představuje standardní řešení. Pokud se zvyšuje působící síla, je obvykle nutné vynakládat větší množství energie. Ta může být interpretována např. jako příkon nějakého pracovního elementu. Síla je taktéž dána jakou součin zrychlení a hmotnosti. Pravděpodobně se bude zvyšovat hmotnost tělesa a jeho rozměry. Zhoršujícími parametry tedy budou Hmotnost nepohyblivého a pohyblivé objektu (parametr 1 a 2) a Spotřeba energie (parametr 19 a 20). V tabulce lze nalézt následující návrhy na řešení (Obr. 3.6)

	Co se nepřípustně zhoršuje?			
Co je nutno změnit?	1	2	19	20
10 Síla (intenzita)	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	19, 17, 10	1, 16, 36, 37

Obr. 3.6: Možnosti řešení technického rozporu

Nalezené principy jsou následující:

1 – Princip segmentace, 8 – Princip anti-tíže, 10 – Princip předběžného působení
 13 – Princip „naopak“, 16 – Částečně nadbytečné působení, 17 – Princip přechodu na jiný rozměr, 18 – Princip využití mechanických vibrací, 19 – Princip periodického působení,
 28 – Nahradit mechanické vazby, 36 – Princip využití fázových přechodů,
 37 – Princip využití tepelné dilatace.

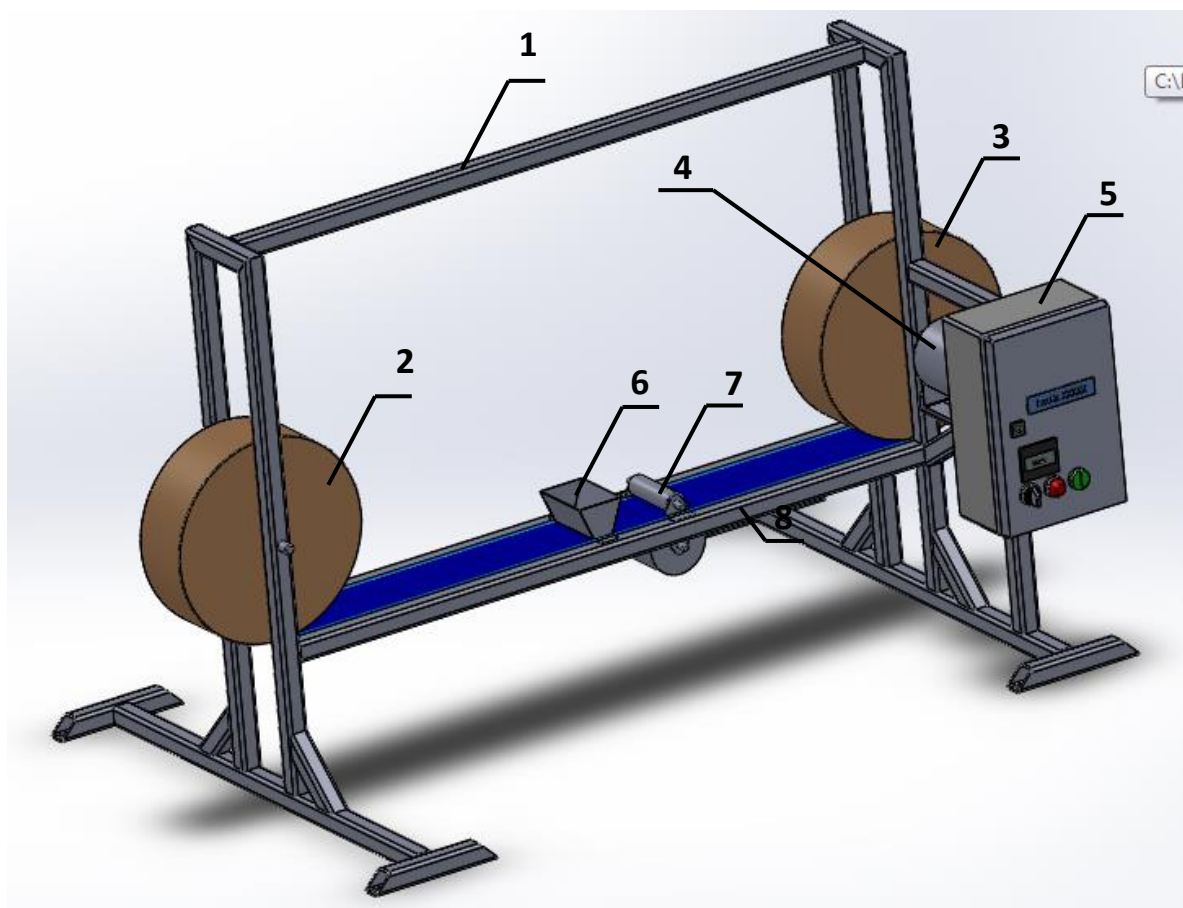
Z navržených principů se jeví jako výhodné použít vibrací či periodického působení. Pro zvyšování síly, resp. intenzity bude aplikováno zařízení, které bude působit nejen tlakem, ale také vibracemi. Volbě vhodného pohonu bude věnována samostatná část v jiné kapitole. Další návrhy potvrzují poznatky z vepolové analýzy, jako je např. využití anti-tíže, kdy granulát není vnášen do textilie pouze gravitací, ale zároveň např. pomocí podtlaku.

4. Generování konceptů

Koncept je pojetí či uchopení problému nebo také první předběžné zpracování, návrh, náčrt, nákres, či skica. Cílem je nastínit možné způsoby, kterými lze daný problém řešit. Proto jsou zde naznačeny především principy, nikoliv konkrétní technické provedení nebo detailní rozpracování řešení. Je vhodné, pokud je to možné, navrhnout více variant řešení, které by se od sebe měly výrazněji lišit. Navržené koncepty se poté podrobí zhodnocení podle vybraných kritérií a na základě výsledků je poté vybrán vítězný návrh. Navržené koncepty vycházejí ze získaných poznatků o vlastnostech budoucího produktu i požadavků kladených na zařízení tento produkt vytvářející. Při generování konceptů bylo využito poznatků z vepolové analýzy a metody TRIZ. Předkládané koncepty využívají pro vnášení granulí do textilie gravitaci, podtlak a mechanické působení, vč. vibrace. Všechny koncepty vycházejí ze stejného nosného rámu, který nese navíjecí buben pro návin nosné textilie a hnací buben pro návin hotového produktu. Rámová konstrukce je z tenkostěnných profilů, konkrétní provedení, materiál, způsob spojování apod. nejsou v konceptu zohledněny. Dále nese ovládací skříň a potřebné elektrické rozvody. V textu proto budou popisovány jen navržené principy vnášení granulátu do nosné textilie.

4.1. Varianta 1 kartáč

Tato varianta (Obr. 4.1) využívá k vnášení granulátu kartáčový válec. Granulát je na povrch posouvající se textilie dávkován z násypky. Poté, co se granulát dostane do kontaktu s válcem, je zachycen štětinami, které jej posunují ve směru pohybu textilie a vzhledem ke zmenšující se štěrbíně mezi válcem a textilií dochází k vtlačování granulátu do struktury textilie. Kartáč nepoužívá vlastní pohon, k jeho otáčení dochází odvalováním kartáče po textilií. Jeho štětinky jsou dostatečně poddajné, aby umožnily přidržení granulátu v potřebné pozici, ale zároveň díky pružnosti působí proti odporu nosného materiálu. Textilní nosič je proti kartáči držen prostřednictvím podpůrného válce. Ten je buď tuhý nebo pružný, např. z PU pěny nebo se může jednat podobně jako v případě horního válce o kartáč.



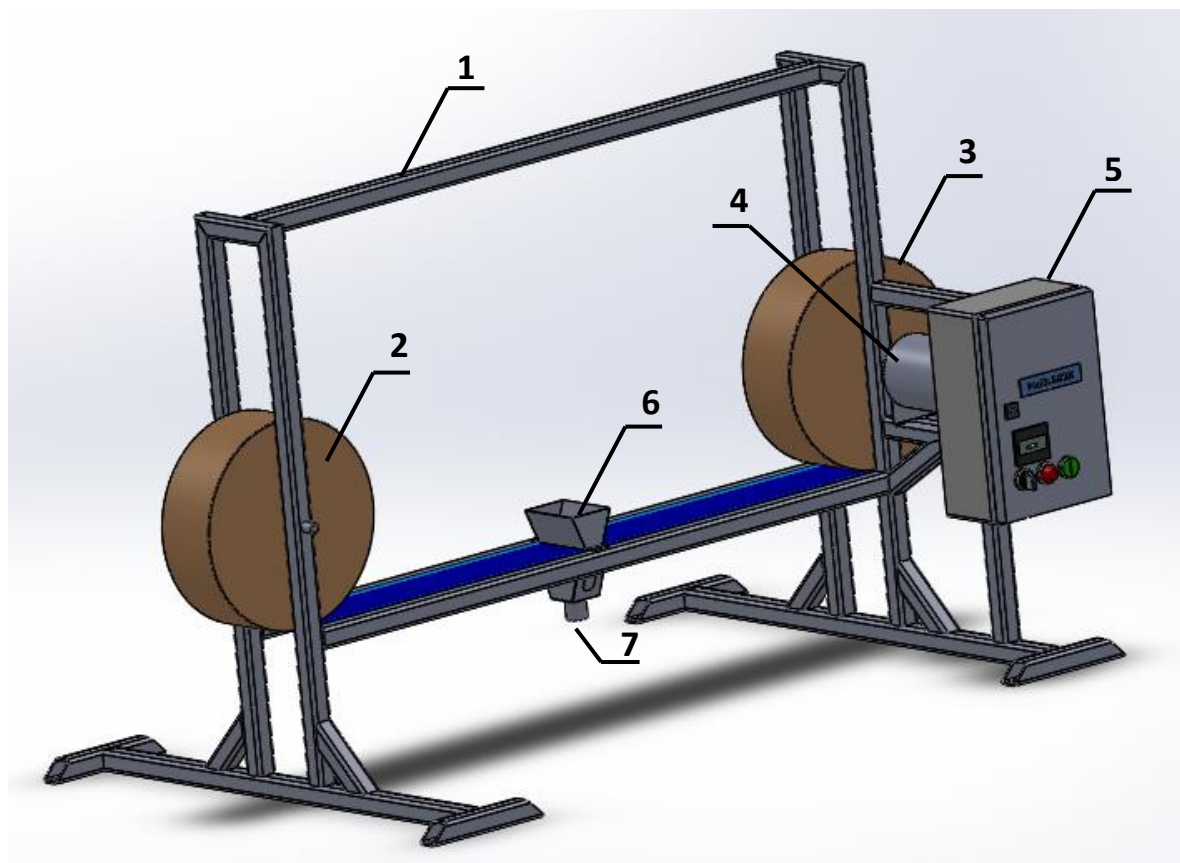
Obr. 4.1: Varianta 1 kartáč

Legenda: 1 – rám; 2 – textilní nosič; 3 – produkt; 4 – pohon; 5 – ovládání stroje; 6 – zásobník granulátu; 7 – přítlačný kartáč; 8 – podpůrný válec/kartáč

4.2. Varianta 2 podtlak

Pro vnášení granulátu je ve variantě 2 (Obr. 4.2) využito účinku podtlaku, který se vyvine přidavným sacím zařízením, sajícím vzduch skrz nosnou textilií. Výhodou je, že po zaplnění otvoru v textilií dojde ke snížení tlaku v tomto místě ve prospěch otvorů, které dosud zaplněny nejsou. To zajistí rovnoměrné plnění textilie. Nevýhodou je skutečnost, že zaplnění textilie roste ve směru jejího pohybu, což vede ke zvýšení síly, kterou je textilie účinkem podtlaku k hubici přisávána. To si vyžádá jednak vhodnou povrchovou úpravu kontaktní plochy hubice pro snížení tření a také navržení vhodné geometrie a vzájemného postavení hubice a násypky. K nevýhodám této varianty patří také skutečnost, že granulát, který není zachycen nosnou textilií je nasáván, proto sání musí být vybaveno účinnou separací pro zachycení granulátu. To ochrání sací zařízení před poškozením, postupným poklesem tlaku

vlivem zanášení a také umožní případné vrácení granulátu do procesu vnášení.



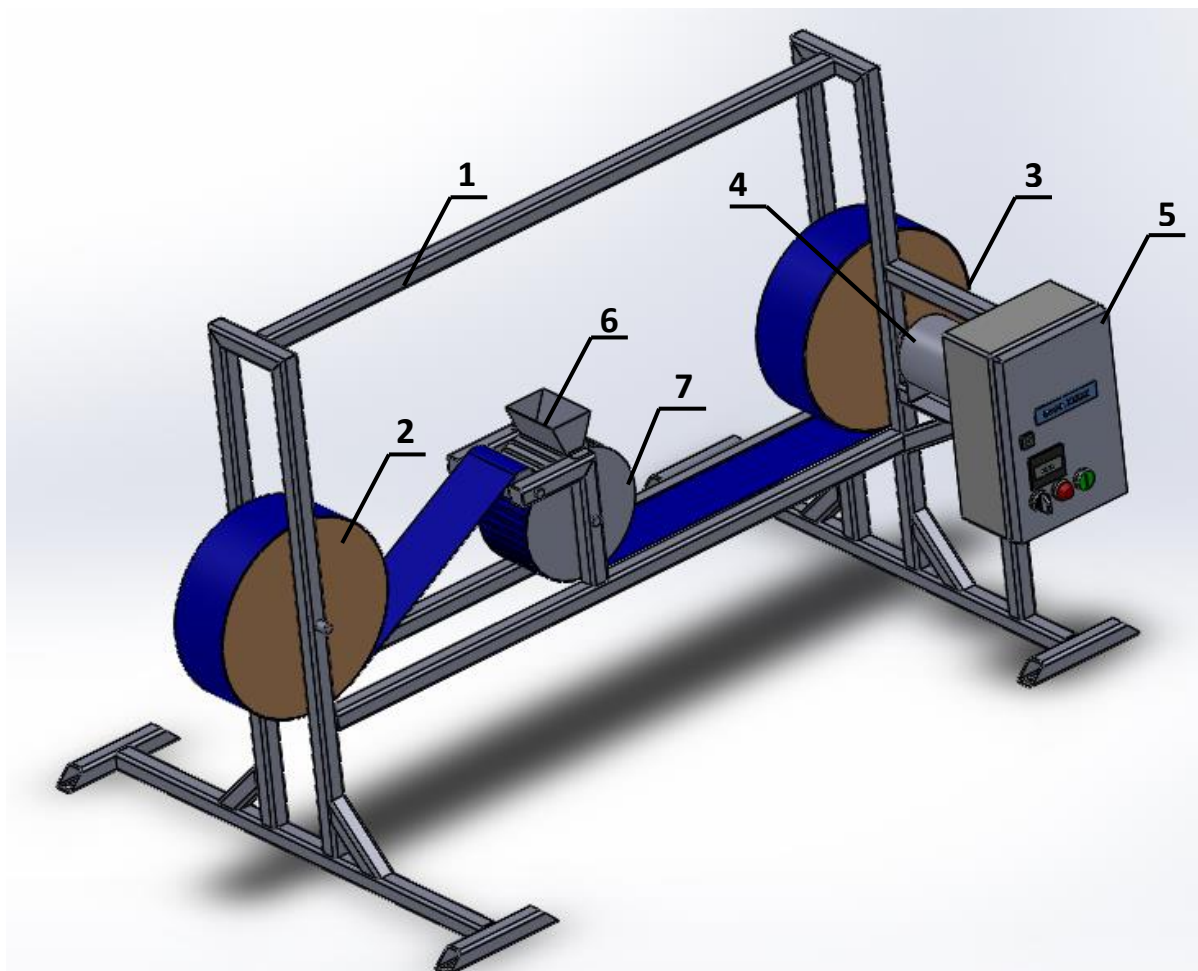
Obr. 4.2: Varianta 2 podtlak

Legenda: 1 – rám; 2 – textilní nosič; 3 – produkt; 4 – pohon; 5 – ovládání stroje; 6 – zásobník granulátu; 7 – sací hubice

4.3. Varianta 3 transfer

Tato varianta (Obr. 4.3) využívá přenesení granulátu do textilie kombinací gravitace a tlaku vytvořeného tlakem válce na nosnou textilií. Granule jsou z násypky přeneseny do drážek válce, který se otáčí stejným směrem i obvodovou rychlostí jako nosná textilie. Přejít granule z drážek na nosnou textilií je způsoben gravitací, volitelně může být doplněn o sání. Válec je na povrchu opatřen příčnými drážkami, jejichž hloubka je navržena tak, aby pojmul pouze 1 vrstvu granulátu. Tím, jak se válec pootáčí, dochází k natočení drážky a následnému vypadnutí granulátu do štěrbin mezi nosnou textilií a válcem. Protože je textilie vedena pod určitým napětím, vzniká mezi ní a válcem určitý tlak, který granulát do textilie vtlačuje. Nevýhodou tohoto postupu je nutnost výroby povrchu válce s přesně tvarovanými drážkami, které jsou funkční jen pro určitý průměr granulátu. Přejít na jiný průměr pak

znamená nutnost použití jiného válce. Válec může být buď samostatně poháněný, ale v důsledku dostatečného úhlu opásání může být využito pohybu textilie k jeho otáčení.



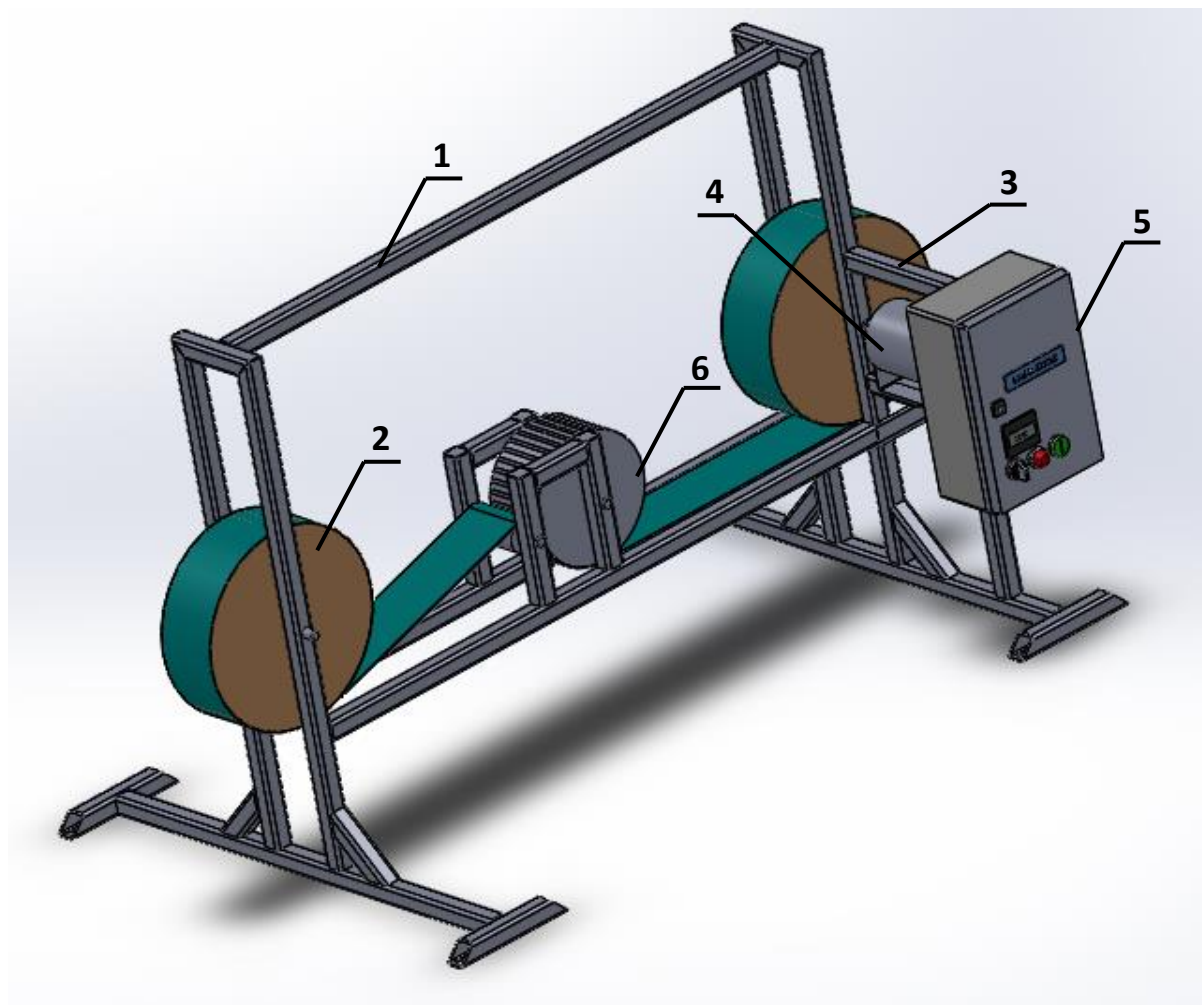
Obr. 4.3: Varianta 3 transfer

Legenda: 1 – rám; 2 – textilní nosič; 3 – produkt; 4 – pohon; 5 – ovládání stroje; 6 – zásobník granulátu; 7 – drážkovaný válec

4.4. Varianta 4 gravitace

Varianta 4 (Obr. 4.4) využívá k přenesení granulátu do textilie gravitace. Granule jsou umístěny uvnitř bubnu, přičemž výška vrstvy zásoby vytváří potřebný tlak. Buben je perforovaný, přičemž průměr otvorů je o 10 až 15 % větší než průměr částic. Válec se otáčí prostřednictvím pohybující se nosné textilie. Aby nedocházelo k vypadávání granulátu v oblasti, kde již buben není v kontaktu s textilií, je uvnitř bubnu umístěna pružná stírací přepážka, za kterou granule nemohou pronikat, protože dosedá přímo na vnitřní povrch pláště bubnu. Nevýhodou je jako v předchozím případě používat buben s velikostí otvorů v plášti

odpovídajícímu konkrétnímu průměru granulátu. Přechod na jiný druh granulátu si vynutí změnu použitého bubnu.

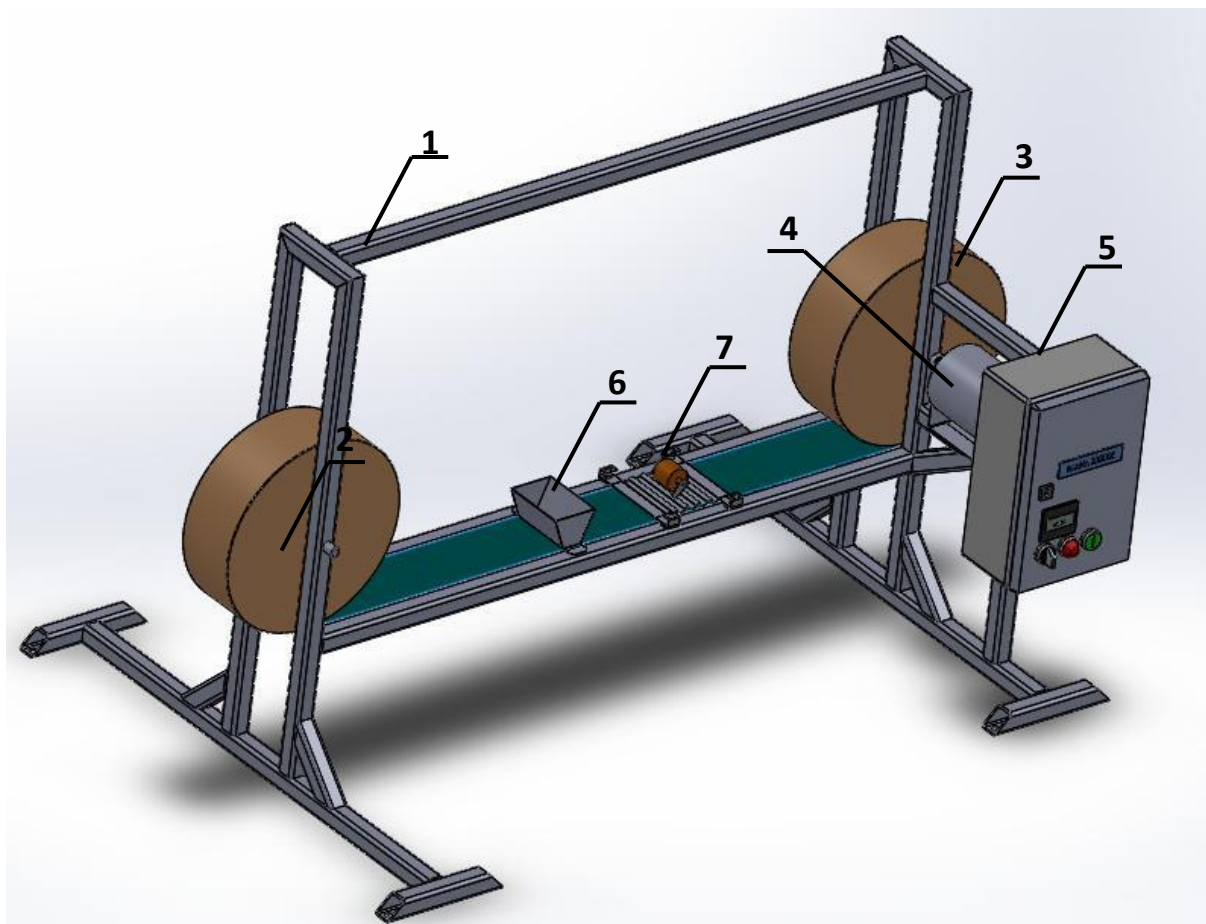


Obr. 4.4: Varianta 4 gravitace

Legenda: 1 – rám; 2 – textilní nosič; 3 – produkt; 4 – pohon; 5 – ovládání stroje; 6 – zásobník granulátu; 7 – drážkovaný válec se zásobníkem granulátu

4.5. Varianta 5 vibrace

Ve variantě 5 (Obr. 4.5) jsou granule rozprostřeny na povrch pleteniny z násypky. Granulát se do textilie vpraví částečně vlivem gravitace a zejména účinkem intenzivních vibrací. Ty jsou buzeny vhodným způsobem (rotující nevývažek, vačka apod.) a přenášeny na destičku, která je skloněna tak, aby se na okraji dále od násypky textilie dotýkala a na okraji blíže k násypce vytvářela štěrbinu. Destičky může kmitat v jednom nebo i více směrech.

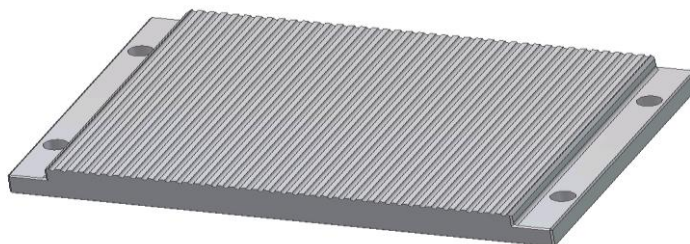


Obr. 4.5: Varianta 5 vibrace

Legenda: 1 – rám; 2 – textilní nosič; 3 – produkt; 4 – pohon; 5 – ovládání stroje; 6 – zásobník granulátu; 7 – vibrační deska s vibračním motorem

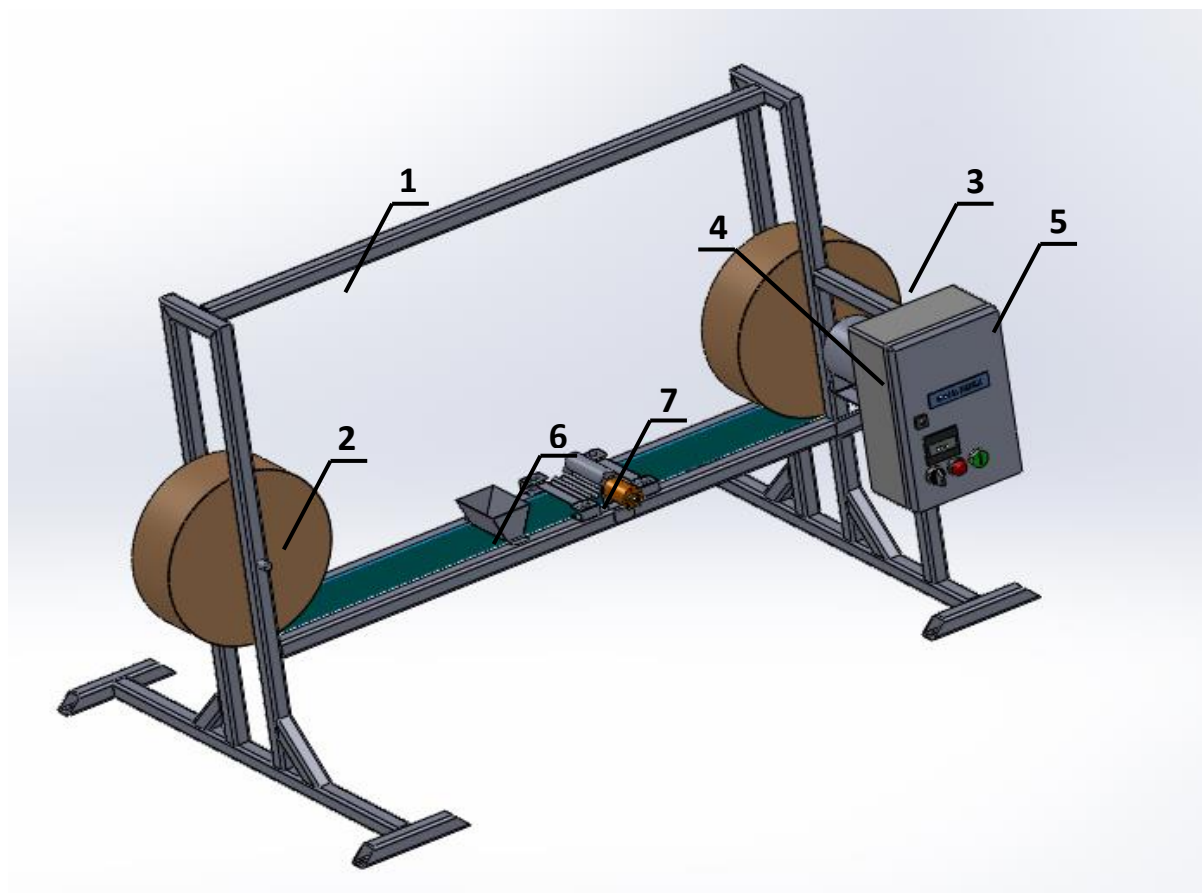
4.6. Varianta 6 šanžírování

Varianta 6 je podobná variantě předchozí s tím rozdílem, že namísto vibrační destičky je použita destička, která vykonává vrátný pohyb ve směru příčném vzhledem ke směru posuvu textilie. Destička (obr. 4.7) je opatřena půlkruhovými drážkami umístěnými v celé její délce ve směru pohybu textilie, resp. i pod určitým úhlem.



Obr. 4.7: Šanžírovací destička s rozváděcími drážkami

Šířka drážek odpovídá průměru granulátu, destička je umístěna pod určitým úhlem. Vytváří se tak klín, který se rozevírá směrem k násypce.



Obr. 4.6: Varianta 6 šanžírování

Legenda: 1 – rám; 2 – textilní nosič; 3 – produkt; 4 – pohon; 5 – ovládání stroje; 6 – zásobník granulátu; 7 – šanžírovací lišta

5. Výběr konceptu

Pro další práci je třeba vybrat koncept, který bude nejvíce odpovídat požadavkům firmy a tedy i zadání celé práce. Níže je proveden výběr konceptu pomocí rozhodovacích tabulek a dále pomocí vážených kritérií.

5.1. Hodnotící kritéria

Jednoduchost konstrukce – hodnotí počet dílů, spojovacích prvků, využití typizovaných dílů a nekomplikovaných prvků.

Nenáročnost montáže – hodnotí nutnost použití speciálních přípravků a nářadí, počet dílů a možnost montáže i nekvalifikovanou obsluhou.

Nenáročnost na údržbu – hodnotí možnost použití prvků a dílů, které nevyžadují pravidelnou či periodickou údržbu, počet prvků, odstraňování poruch bez složité diagnostiky.

Nenáročnost na obsluhu – jednoduchost ovládání, snadná dosažitelnost všech ovládacích prvků, doplňování granulátu.

Bezporuchovost – zahrnuje jednoduchost konstrukce, počet použitých dílů.

Účinnost – hmotnost granulátu připadající na hmotnost textilie, procento využití granulátu.

Recyklovatelnost – hodnotí zpětné využití granulátu.

Bezpečnost – počet pohyblivých dílů, jejich potenciální nebezpečnost vzhledem k rychlosti pohybu.

Pořizovací cena – hodnotí použití běžných materiálů, pohonů a obvyklých konstrukčních řešení.

Náklady na provoz – hodnotí se počet částí spotřebovávajících energii.

Kontinuální proces – umožnění doplňování granulátu bez zastavení stroje.

Zástavbový prostor – hodnotí se půdorysný rozměr a objem stroje.

Životnost – jednoduchost konstrukce, počet pohyblivých dílů.

Použití libovolného průměru granulátu – hodnotí účinnost stroje s ohledem na variabilitu granulátu.

Použitelnost v čistých prostorech – splnění nutné podmínky.

Bezprašný provoz – hodnotí se sklon k tvorbě a šíření prachových částic.

Autodiagnostika – hodnotí se možnost využití autodiagnostických prvků.

5.2. Rozhodovací tabulky

Nejprve bylo provedeno základní rozřazení konceptů pomocí tabulky 5.1, kde jsou koncepty hodnoceny dle kritérií popsanych v kap. 5.1. V této tabulce mají všechna kritéria stejnou váhu. Hodnocení bylo provedeno na základě intuice a získaných vědomostí při studiu problematiky a při konzultacích se zadavatelem. Způsob hodnocení vychází z jednoduchého výběru splnění či nesplnění daného kritéria

HODNOCENÍ:

+ : koncept v daném kritériu vyniká v kladném slova smyslu

0 : koncept v daném kritériu nijak zvlášť nevyniká

- : koncept neplní požadavky daného kritéria

Vlastnost	Varianta					
	kartáč	podtlak	transfer	gravitace	vibrace	Šanžírování
Jednoduchost konstrukce	+	+	0	0	0	0
Nenáročnost montáže	+	+	0	+	+	0
Nenáročnost na údržbu	0	+	+	-	+	+
Nenáročnost na obsluhu	+	+	0	-	+	+
Bezporuchovost	+	0	0	0	0	+
Počet dílů	0	-	0	-	-	-
Účinnost vnášení	-	-	-	-	+	0
Recyklovatelnost	+	0	+	+	+	+
Bezpečnost	+	0	0	0	+	0
Hlučnost	+	-	0	0	0	0
Pořizovací cena	0	-	-	-	0	0
Náklady na provoz	+	-	+	+	0	0
Hmotnost	+	-	+	+	+	+
Energetická nenáročnost	+	-	+	+	+	+
Kontinuální proces	+	+	+	+	+	+
Zástavbový prostor	+	+	+	+	+	+
Životnost	+	+	+	+	+	+
Použití libovolného průměru granulátu	+	+	-	-	+	0
Bezprašný provoz	+	+	+	-	0	+
Použitelnost v čistých prostorech	+	+	+	-	0	+
Autodiagnostika	+	+	+	+	+	+
Součet (+)	17	11	11	9	13	12
Součet (0)	3	3	7	4	7	8
Součet (-)	1	7	3	8	1	1
Skóre	16	4	8	1	12	11
Pořadí	1	5	4	6	2	3
Vyhodnocení	ANO	NE	NE	NE	ANO	ANO

Tab. 5.1: Rozhodovací tabulka

Pomocí rozhodovací tabulky byly vybrány tři vhodné koncepty pro další zpracování a to v následujícím pořadí:

1. Varianta kartáč

2. Varianta vibrace

3. Varianta šanžírování

Varianta, která se umístila na prvním místě, využívá pouze pohon nutný k odvíjení nosné textilie. Odvalování kartáče je zajištěno kontaktem s povrchem textilie. Zbývající návrhy používají dalšího pohonu, který je nutný ke generování vibrací, resp. příčného pohybu drážkované lišty. Jednotlivé varianty se od sebe svým principem liší, avšak získané výsledky jsou poměrně těsné. Mezi prvním a druhým místem jsou čtyři body, ale mezi druhým a třetím místem je to pouze jeden bod. Tento způsob rozhodování může být použitý pro prvotní určení návrhů, které lze preferovat, ale nemůže jednoznačně určit, pro který návrh se rozhodnout, aby bylo vybráno skutečně ideální řešení. Z tohoto důvodu je vhodné provést další výběry a rozhodovací kritéria zpřesnit, upravit nebo některé z nich odebrat. Dále je vhodné jednotlivým zkoumaným parametrům přiřadit váhu, která jim je z hlediska důležitosti přikládána. Použita bude bodová škála od 1 do 10 bodů, přičemž vyšší hodnocení představuje lepší hodnotu. Tabulka 1 bude upravena tak, že se použijí pouze první tři návrhy a vyřadí se ty parametry, u kterých jednotlivé varianty dosáhly stejných hodnocení. Při volbě váhy jednotlivých parametrů bude kladen největší důraz na funkčnost stroje a jeho bezpečnost. Vyřazeny budou položky: **Nenáročnost na obsluhu, Recyklovatelnost, Pořizovací cena, Hmotnost, Energetická nenáročnost, Kontinuální proces, Zástavbový prostor, Životnost a Autodiagnostika.** Výsledná rozhodovací tabulka s váhami je v Tab. 2.

Vlastnost	kartáč	Vážená hodnota	vibrace	Vážená hodnota	šanzírování	Vážená hodnota	Váha
Jednoduchost konstrukce	10	0,5	5	0,25	3	0,15	5
Nenáročnost montáže	8	0,24	5	0,15	3	0,09	3
Nenáročnost na údržbu	5	0,25	7	0,35	4	0,2	5
Bezporuchovost	8	0,4	6	0,3	3	0,15	5
Počet dílů	8	0,16	5	0,1	5	0,1	2
Účinnost vnášení	2	0,3	10	1,5	5	0,75	15
Bezpečnost	8	0,8	6	0,6	3	0,3	10
Hlučnost	10	0,5	8	0,4	8	0,4	5
Náklady na provoz	8	0,16	7	0,14	7	0,14	2
Hmotnost	7	0,14	6	0,12	6	0,12	2
Energetická nenáročnost	8	0,16	5	0,1	5	0,1	2
Kontinuální proces	3	0,3	7	0,7	5	0,5	10
Zástavbový prostor	6	0,18	6	0,18	6	0,18	3
Životnost	7	0,35	5	0,25	5	0,25	5
Použití libovolného průměru granulátu	10	0,64	5	0,8	0	0,48	8
Bezprašný provoz	8	0,64	5	0,4	5	0,4	8
Použitelnost v čistých prostorech	5	0,5	7	0,7	7	0,7	10
Součet		6,22		7,04		5,01	
Pořadí		2		1		3	

Tab. 5.2: Detailní hodnocení konceptů

5.3. Hodnocení jednotlivých variant

V následující části budou jednotlivé varianty popsány z hlediska zvolených kritérií.

Varianta kartáč

- **Jednoduchost konstrukce** – konstrukce tohoto provedení je velmi jednoduchá, nepoužívá přídavné pohony a celý proces plnění je závislý na vhodném nastavení přitlaku kartáče na povrch textilie. Důležité je zvolit správnou tuhost štetin kartáče, aby byla zajištěna jeho optimální poddajnost.
- **Nenáročnost montáže** – vzhledem k tomu, že rámy jednotlivých konceptů jsou shodné, spočívá nenáročnost v malém počtu dílů a seřizovacích prvků.

- **Nenáročnost na údržbu** – lze předpokládat, že malý počet prvků povede ke snazší údržbě, nicméně bude nutné provádět čištění kartáče, který se bude plnit granulátem a bude snižovat plnicí funkci.
- **Nenáročnost na obsluhu** – zařízení, vzhledem k výše uvedenému bude vyžadovat větší pozornost a pravidelnou kontrolu stavu kartáče.
- **Bezporuchovost** – s výjimkou nutnosti pravidelné údržby kartáče, lze očekávat bezporuchový proces.
- **Počet dílů** – toto provedení využívá nejmenší počet dílů v porovnání s ostatními variantami, především odpadá nutnost dalšího elektrického pohonu.
- **Účinnost vnášení** – účinnost vnášení granulátu do textilního nosiče bude v případě této varianty nižší v porovnání s dalšími variantami.
- **Bezpečnost** – malý počet dílů, které jsou v pohybu, a zároveň jejich pohyb je realizován malou silou dává předpoklad vysoké bezpečnosti. Riziko kontaktu s otáčejícími částmi hrozí především v režimu doplňování granulátu.
- **Hlučnost** – zařízení bude způsobovat hluk pouze vlivem pohonu navíjecího válce hotového výrobku
- **Náklady na provoz** – náklady na provoz budou spočívat především ve spotřebě elektrické energie, která bude nízká.
- **Hmotnost** – vzhledem k volbě materiálů a pohonů bude zařízení dosahovat nízké hmotnosti s předpokladem manipulace dvěma osobami.
- **Energetická nenáročnost** – vzhledem k použitému pohonu bude možno zařízení považovat za energeticky nenáročné. Není vyžadován další pohon
- **Kontinuální proces** – použití kartáče jako pracovního elementu povede k nutnosti pravidelného čištění a odstavování stroje.
- **Zástavbový prostor** – rám je shodný pro všechny varianty
- **Životnost** – vzhledem k nízkému využití lze očekávat vysokou životnost zařízení, avšak životnost kartáče bude omezená.
- **Použití libovolného průměru granulátu** – využití kartáče pro vnášení granulátu umožní zpracovávat granulát bez ohledu na jeho průměr.
- **Bezprašný provoz** – lze předpokládat bezprašný provoz zařízení
- **Použitelnost v čistých prostorech** – volba konstrukčních materiálů bude provedena s ohledem na požadavky SÚKL. Kartáč představuje prvek s horší čistitelností.

Varianta vibrace

- **Jednoduchost konstrukce** – konstrukce tohoto provedení je velmi jednoduchá, oproti předchozí variantě je zde však navíc použit pohon vibrační desky.
- **Nenáročnost montáže** – vzhledem k tomu, že rámy jednotlivých konceptů jsou shodné, je v porovnání s předchozí variantou rozšířena o další prvek – vibrační lištu s pohonem.
- **Nenáročnost na údržbu** – lze předpokládat, že malý počet prvků povede ke snazší údržbě, vibrační lišta nebude vyžadovat žádnou zvláštní údržbu.
- **Nenáročnost na obsluhu** – zařízení, bude jednoduché a nebude vyžadovat zvláštní pozornost během pracovního cyklu.
- **Bezporuchovost** – vzhledem ke konstrukci a navrženým postupům plnění lze předpokládat bezporuchový provoz.
- **Počet dílů** – toto provedení využívá malý počet dílů v porovnání s předchozí variantou je osazeno vibrační lištou s elektrickým pohonem.
- **Účinnost vnášení** – účinnost vnášení granulátu do textilního nosiče bude v případě této varianty vyšší v porovnání s dalšími variantami. Lze očekávat i vyšší výrobní rychlosti.
- **Bezpečnost** – oproti předchozí variantě je využit další pohon. Vzhledem k nízké amplitudě kmitů je kontakt s vibrační deskou bezpečný, problém by představovaly dlouhodobé účinky vibrace. Vibrační zařízení by mělo být umístěno tak, aby nešířilo vibrace do okolí.
- **Hlučnost** – zařízení bude způsobovat hluk vlivem pohonu navíjecího válce hotového výrobku a také vlivem pohonu vibrační lišty. Intenzitu vibrací a jejich frekvenci je nutno volit nejen s ohledem na účinnost plnění granulátem, ale také na samotnou konstrukci zařízení, aby nedocházelo k buzení vlastních kmitů.
- **Náklady na provoz** – náklady na provoz budou spočívat především ve spotřebě elektrické energie, která bude nízká. Pohon vibrační lišty bude využívat pohon o nízkém příkonu.
- **Hmotnost** – vzhledem k volbě materiálů a pohonů bude zařízení dosahovat nízké hmotnosti s předpokladem manipulace dvěma osobami.
- **Energetická nenáročnost** – vzhledem k použitému pohonu bude možno zařízení považovat za energeticky nenáročné.

- **Kontinuální proces** – vzhledem k využití vibrační lišty pro plnění textilie granulátem lze předpokládat bezúdržbový provoz bez nutnosti vynucených zastavení stroje.
- **Zástavbový prostor** – rám je shodný pro všechny varianty, zástavbový prostor tedy bude shodný.
- **Životnost** – vzhledem k nízkému využití stroje lze očekávat vysokou životnost zařízení.
- **Použití libovolného průměru granulátu** – využití vibrační lišty pro vnášení granulátu umožní zpracovávat granulát bez ohledu na jeho průměr.
- **Bezprašný provoz** – vzhledem k zakrytování bude provoz zařízení bezprašný, přestože vibrace mohou podporovat tvorbu prachových částic a následné víření.
- **Použitelnost v čistých prostorech** – volba konstrukčních materiálů bude provedena s ohledem na požadavky SÚKL.

Varianta šanžírování

- **Jednoduchost konstrukce** – konstrukce tohoto provedení je v porovnání s předchozími z důvodu použití šanžírovacího mechanismu.
- **Nenáročnost montáže** – vzhledem k tomu, že rámy jednotlivých konceptů jsou shodné, použít je mechanismus pro šanžírování s elektrickým pohonem.
- **Nenáročnost na údržbu** – lze předpokládat, že malý počet prvků povede ke snazší údržbě, šanžírovací lišta bude vyžadovat občasné čištění vodících drážek.
- **Nenáročnost na obsluhu** – zařízení bude nutno v pravidelných intervalech kontrolovat, aby nedocházelo k zanášení vodících drážek a tím snižování výkonu zařízení.
- **Bezporuchovost** – vzhledem ke konstrukci a navrženým postupům plnění lze předpokládat bezporuchový provoz.
- **Počet dílů** – toto provedení využívá nejvyšší počet dílů v porovnání s předchozími variantami a je osazeno šanžírovací lištou s elektrickým pohonem.
- **Účinnost vnášení** – účinnost vnášení granulátu do textilního nosiče bude v případě této varianty nižší nežli v předchozím případě, ale vyšší než u varianty kartáč.
- **Bezpečnost** – tato varianta je opatřena šanžírovací lištou. Bezpečnost pohonu je možno zajistit účinným krytím a také vhodným umístěním na rám tak, aby byly zachovány dostatečné vzdálenosti pohyblivých a pevných částí.

- **Hlučnost** – zařízení bude způsobovat hluk vlivem pohonu navíjecího válce hotového výrobku a také vlivem pohonu šanžirovací lišty.
- **Náklady na provoz** – náklady na provoz budou spočívat především ve spotřebě elektrické energie, která bude nízká. Pohon šanžirovací lišty bude využívat pohon o nízkém příkonu.
- **Hmotnost** – vzhledem k volbě materiálů a pohonů bude zařízení dosahovat nízké hmotnosti s předpokladem manipulace dvěma osobami.
- **Energetická nenáročnost** – vzhledem k použitému pohonu bude možno zařízení považovat za energeticky nenáročné.
- **Kontinuální proces** – použitý princip se šanžirovací lištou a rozváděcími drážkami může vést k občasnému odstavení stroje vlivem zaplnění drážek granulátem.
- **Zástavbový prostor** – rám je shodný pro všechny varianty, zástavbový prostor tedy bude shodný.
- **Životnost** – vzhledem k nízkému využití lze očekávat vysokou životnost zařízení.
- **Použití libovolného průměru granulátu** – při vhodném zvolení proměnlivého profilu drážky bude možné použít granulát o různém průměru. Proměnlivý profil drážky však může podpořit její zanášení.
- **Bezprašný provoz** – v případě zakrytování bude provoz zařízení bezprašný.
- **Použitelnost v čistých prostorech** – volba konstrukčních materiálů bude provedena s ohledem na požadavky SÚKL.

5.4. Výběr vítězné varianty

Z rozhodovacích tabulek vyplynuly tři návrhy splňující daná kritéria výběru. Z nich bylo zpřesněným rozhodováním za využití rozhodovacích tabulek doplněných váhami vytvořeno pořadí jednotlivých variant. Lze konstatovat, že rozdíl bodového zisku mezi jednotlivými variantami je poměrně nízký a pořadí bylo do značné míry určeno parametry s nejvyšším bodovým ziskem. Těmito parametry byla schopnost plnit nosnou textilií granulátem a také bezpečnost zařízení. Vítězný návrh je varianta 5 vibrace. K přenosu granulátu do nosné textilie je využito kombinace potenciální energie a kinetické energie přenášené do granulátu z vibrační lišty. U tohoto způsobu řešení lze očekávat nejvyšší intenzitu plnění nosné textilie granulátem a z pohledu vytvářeného produktu je tento způsob nejvýhodnější. Vyšší náklady spojené s přídavným zařízením budou kompenzovány vyšší produktivitou stroje a tvorbou menšího množství odpadu. Vibrační zařízení nebude nutné

čistit a bude tak zajištěna kontinuální výroba bez prostojů. Ostatní požadavky, především ty, které souvisejí s nutností umístění stroje v čistých provozech, budou splněny jednak zakrytáním přístroje a použitím prvků, které samy negenerují prach, nečistoty, mazivo apod. Protože v zařízení je použito zařízení generující vibrace, bude nutné omezit jejich přenos do konstrukce stroje vhodným pružným uložením a pomocí modální analýzy určit, v jakém rozsahu frekvencí mohou být vibrace generovány, aby nedocházelo ke kmitání rámu na jeho vlastní frekvenci. Další požadavek na umístění zařízení do čistých prostor, tedy možnost sterilizace částí zařízení, v tomto případě etanolem, bude splněna volbou vhodných konstrukčních materiálů, které jsou pro tyto typy zařízení doporučována. Jedná se především o eloxovaný hliník a nerezovou ocel.

6. Návrh pohonu

Pro správnou funkci operace vnášení granulátu do struktury textilie je nutné zajistit její rovnoměrný přímočarý pohyb. Toho lze docílit různými způsoby, např. uložením textilie na dopravník či pás. Vzhledem k tomu, že textilie je dodávána ve formě návinu a pro další zpracování je nutné tento formát zachovat, je vhodné nanášet granulát ze zásobního návinu materiálu při jeho převíjení.

6.1. Vstupní parametry

Protože během navíjení dochází ke změně průměru, je nutné regulovat otáčky bubnu tak, aby rychlost posuvu textilie byla konstantní. Vzhledem k tomu, že nejmenší průměr návinu je dán průměrem navíjecího bubnu a odpovídá hodnotě $r=40$ mm, maximální poloměr návinu je dán manipulačními možnostmi a je stanoven na hodnotu $R=400$ mm. Z toho vyplývá, že poměr rotorové rychlosti navíjecího bubnu na počátku navíjení a na konci v okamžiku, kdy dosáhne nejvyššího průměru, bude v poměru obvodů návinu těchto krajních hodnot (1).

$$p_d = \frac{2\pi r}{2\pi R} = 1/10 \quad (1)$$

průměr návinu $D = 2R = 800$ mm,

průměr dutinky $d = 2r = 80$ mm,

délka návinu l ,

tloušťka materiálu $h = 3$ mm

šíře návinu $\check{s} = 100$ mm

Délku návinu lze určit z následující úvahy. Objem návinu na dutince musí být roven objemu rozvinuté plochy návinu dle (2).

$$\frac{\pi \cdot \check{s}}{4} (D^2 - d^2) = l \cdot h \cdot \check{s} \Rightarrow l = \frac{\pi}{4 \cdot h} (D^2 - d^2) \quad (2)$$

Délka návinu při daných parametrech odpovídá hodnotě 165,99 m. Pro určení parametrů motoru a převodovky je nutné znát požadované rychlosti posuvu a hmotnost návinu. Hmotnost návinu se určí ze znalosti plošné hmotnosti použité pleteniny, množství vneseného

granulátu a hmotnosti dutinky. Na základě rozboru vlastností krytu WoundEx bylo zjištěno, že po odečtení hmotnosti sáčku, ve kterém je granulát umístěn, je plošná hmotnost granulátu $2464,97 \text{ g.m}^{-2}$. Vzhledem k téměř fixnímu umístění granulátu v pletenině lze použít zhruba poloviční množství, což bylo prokázáno i klinickými studiemi. Vstupní parametry tedy budou:

$$\text{plošná hmotnost pleteniny } m_p = 250 \text{ g.m}^{-2}$$

$$\text{plošná hmotnost granulátu } m_g = 1250 \text{ g.m}^{-2}$$

$$\text{hmotnost dutinky } m_d = 0,105 \text{ g.}$$

Hmotnost návinu s granulátem se určí dle (3).

$$m_{ng} = (m_p + m_g) \cdot l \cdot \check{s} - m_d \quad (3)$$

Hmotnost návinu s granulátem je 24,87 kg. Pro hmotnost návinu textilie bez granulátu se použije stejný vztah, jen s tím rozdílem, že hodnota m_g bude rovna nule. Hmotnost návinu bez granulátu bude tedy 4,15 kg.

Při návrhu pohonu je nutno postupovat tak, že nejprve se stanoví potřebné výstupní otáčky hřídele navíjecího zařízení, na jejich základě se určí převodový poměr vzhledem k vstupním otáčkám a následně se podle silových a dalších účinků vybere vhodná převodovka a na závěr elektromotor. Poté se provede kontrola celé pohonné jednotky doplněná o další parametry. Je nutné zdůraznit, že ne vždy je možné najít ideální kombinaci převodovky s motorem a jeden z prvků může být značně předimenzován. Spolu s návrhem převodovky a elektromotoru je také nutné navrhnout způsob jeho ovládání a řízení.

6.2. Návrh převodovky

Při návrhu převodovky je nutné zohlednit proměnlivou rychlost otáčení v závislosti na průměru návinu v daný okamžik a převodový poměr volit i v závislosti na regulovaných parametrech elektromotoru. Při výpočtech převodového poměru se bude vycházet z požadované provozní rychlosti textilie 1 m.min^{-1} .

Výstupní otáčky převodovky při průměru $D=800 \text{ mm}$ se určí dle (4)

$$n_{\min} = \frac{v}{\pi \cdot D} = \frac{1}{\pi \cdot 0,8} = 0,3979 \text{ min}^{-1} \quad (4)$$

a pro průměr $d=80$ mm

$$n_{\max} = \frac{v}{\pi \cdot d} = \frac{1}{\pi \cdot 0,08} = 3,979 \text{ min}^{-1} \quad (5)$$

Při zvolených otáčkách motoru $n_m=700 \text{ min}^{-1}$ (je vhodné volit co nejnižší pro dosažení co nejmenšího převodového poměru) se převodový poměr pro n_{\min} určí dle (6)

$$i_{\min} = \frac{n_m}{n_{\min}} = \frac{700}{0,3979} = 1759,24 \quad (6)$$

a pro n_{\max} dle (7)

$$i_{\max} = \frac{n_m}{n_{\max}} = \frac{700}{3,979} = 175,92 \quad (7)$$

Z hlediska realizace pohonu a dostatečné účinnosti převodu je vhodné vybrat nižší převodový poměr a požadovaný rozsah otáček zajistit pomocí řízení proměnlivých otáček motoru. To představuje desetinásobnou změnu otáček, které lze docílit např. pomocí frekvenčního měniče. V základním pojetí by pro dosažení požadované rychlosti navíjení při prázdné dutince byla použita frekvence 50 Hz, zatímco pro plný návin by bylo použito frekvence 5 Hz. Celková doba provozování pro výrobu jednoho návinu bude dle (2) při rychlosti v 1 m.min⁻¹ odpovídat 166 minutám, což při nízkých frekvencích otáčení motoru může při vysokých teplotách prostředí vést k přehřívání elektromotoru. Pokud by nebylo chlazení dostatečné, lze elektromotor doplnit o nucené chlazení přídavným ventilátorem s vlastním elektrickým pohonem. O jeho aplikaci bude rozhodnuto až na základě výsledků zkušebního provozu. Potřebné parametry motoru jsou uvedeny v tabulce 6.1.

Provozní rychlost [m.min ⁻¹]	1
Nejnižší výstupní otáčky pro D=800 mm [min ⁻¹]	0,3979
Nejvyšší výstupní otáčky pro d=80 mm [min ⁻¹]	3,979
Otáčky motoru pro D=80 mm [min ⁻¹]	71,38
Otáčky motoru pro D=800 mm [min ⁻¹]	713,84

Tab. 6.1: Parametry rychlosti při navíjení

Nejblíže těmto parametrům je šneková převodovka s převodem $i=179,4$. Elektromotor bude navržen asynchronní, 8-pólový, s otáčkami 700 min^{-1} . Vhodné je použít kompletní řešení, kdy

je dodávána převodovka spolu s motorem. Vybrána byla převodovka s typovým označením C.29-LA63ME4 a výše uvedenými parametry.

6.3. Ověření pohonu

Při návrhu pohonu je nejprve nutné navrhnout požadovaný převodový poměr. Určí se požadované výstupní otáčky převodovky na základě předpokládané provozní rychlosti 1 m.min⁻¹. Výpočet bude proveden pro maximální i minimální průměr návinu. Je třeba počítat s oběma návinu a s tím souvisejícími hmotami, protože oba návinu jsou spojeny.

t_a – čas akcelerace na nejvyšší rychlosti

t_d – čas decelerace do úplného zastavení z nejvyšší rychlosti

$t_a = 2 \text{ s}$, $t_d = 2 \text{ s}$

Protože časy jsou shodné, použije se ve výpočtech čas akcelerace t_a . Úhlová rychlost návinu, hřídelí, pružin, přídržných kroužků, převodovky a čel bubnů při minimální a maximální rychlosti navíjení se určí dle vztahů (8) a (9):

$$\omega_{L\min} = \frac{v}{D} = \frac{1}{60 \cdot 0,4} = 0,0417 \text{ rad.s}^{-1} \quad (8)$$

$$\omega_{L\max} = \frac{v}{d} = \frac{1}{60 \cdot 0,04} = 0,417 \text{ rad.s}^{-1} \quad (9)$$

Úhlová rychlost motoru při minimální a maximální rychlosti navíjení se určí dle vztahů

$$\omega_{H\min} = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{70 \cdot 2\pi}{60} = 7,33 \text{ rad.s}^{-1} \quad (10)$$

$$\omega_{H\max} = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{700 \cdot 2\pi}{60} = 73,3 \text{ rad.s}^{-1} \quad (11)$$

Úhlové zrychlení návinu, hřídelí a dorazů při minimální a maximální rychlosti navíjení je dle (12) a (13):

$$\omega_{L\min} = \alpha \cdot \frac{t_a}{2} \Rightarrow \alpha_{L\min} = \frac{2\omega_{L\min}}{t_a} = \frac{2 \cdot 0,0417}{2} = 0,0417 \text{ rad.s}^{-2} \quad (12)$$

$$\alpha_{L\max} = \frac{2\omega_{L\max}}{t_a} = \frac{2 \cdot 0,417}{2} = 0,417 \text{ rad.s}^{-2} \quad (13)$$

Úhlové zrychlení motoru při minimální a maximální rychlosti navíjení je dle (14) a (15):

$$\alpha_{m\min} = \frac{2\omega}{t_a} = \frac{2 \cdot 7,33}{2} = 7,33 \text{ rad.s}^{-2} \quad (14)$$

$$\alpha_{m\max} = \frac{2\omega}{t_a} = \frac{2 \cdot 73,3}{2} = 73,3 \text{ rad.s}^{-2} \quad (15)$$

Momenty setrvačnosti návinů s granulátem a bez granulátu pro průměr 800 mm jsou dle (16) a (17) určeny následovně:

$$J_G = \frac{m}{2} \cdot (R_1^2 + R_2^2) = \frac{24,87}{2} \cdot (0,4^2 + 0,04^2) = 2,01 \text{ kg.m}^2 \quad (16)$$

$$J_T = \frac{m}{2} \cdot (R_1^2 + R_2^2) = \frac{4,26}{2} \cdot (0,4^2 + 0,04^2) = 0,34 \text{ kg.m}^2 \quad (17)$$

Momenty setrvačnosti a hmotnosti dalších dílů byly získané z technické a výkresové dokumentace a jsou uvedeny v tab. 6.2.

Díl	m [kg]	J [kg.m ²]	Značení
Pružina	0.0466	2.04 x10 ⁻⁵	J _p
Hřídel	1.6	5.16 x10 ⁻⁴	J _h
Doraz	0.181	4.92 x10 ⁻⁵	J _{dor}
Dutinka	0.105	1.68 x10 ⁻⁴	J _d
Převodovka	1	0.8x10 ⁻⁴	J _{pr}
Motor	1.8	8x10 ⁻⁴	J _m

Tab. 6.2: Momenty setrvačnosti a hmotnosti jednotlivých dílů

Výpočet momentu, který je nutný pro uvedení soustavy do chodu se získá jako suma momentů všech rotujících dílů (18).

$$M_C = \sum M_i \quad (18)$$

Rozběh stroje v počáteční fázi výroby

Při tomto stavu probíhá navíjení prázdné dutinky při maximální rychlosti, přičemž materiál se odvíjí z návinu obsahujícího textilií nejnižší možnou rychlostí. Moment prázdné dutinky bude dle (19),

$$M_d = J_d \cdot \alpha_{L\max} = 1,68 \cdot 10^{-4} \cdot 0,417 = 7,01 \cdot 10^{-5} \text{ Nm} \quad (19)$$

moment návinu s textilií, který se bude otáčet minimální rychlostí dle (20),

$$M_T = J_T \cdot \alpha_{L\min} = 0,34 \cdot 0,0417 = 0,014 \text{ Nm} \quad (20)$$

moment 2 hřídelů, 2 dorazů, pružiny a převodovky v navíjecí části bude dle (21),

$$M_n = (J_h + J_{dor}) \cdot 2\alpha_{L\max} + (J_p + J_{pr}) \cdot \alpha_{L\max} = 4,8 \cdot 10^{-4} Nm \quad (21)$$

moment 2 hřídelů, 2 dorazů, 2 pružin a dutinky v odvíjecí části bude dle (22),

$$M_o = (J_h + J_{dor} + J_p) \cdot 2\alpha_{L\min} + J_d \cdot \alpha_{L\min} = 3,14 \cdot 10^{-5} Nm \quad (22)$$

a moment motoru bude dle (23).

$$M_m = J_m \cdot \alpha_{m\max} = 8 \cdot 10^{-4} \cdot 73,3 = 0,059 Nm \quad (23)$$

Celkový rozběhový moment soustavy je potom 0,074 Nm.

Rozběh stroje v konečné fázi výroby

Tato situace nastane při zastavení výroby v její konečné fázi. Navíjecí část se otáčí minimálními otáčkami, návin obsahuje granulát, zatímco odvíjecí část se otáčí maximální rychlostí a obsahuje prakticky prázdnou dutinku.

Moment prázdné dutinky bude dle (24),

$$M_d = J_d \cdot \alpha_{p\max} = 1,68 \cdot 10^{-4} \cdot 0,417 = 7,01 \cdot 10^{-5} Nm \quad (24)$$

moment návinu s textilií a granulátem, který se bude otáčet minimální rychlostí je dle (25),

$$M_T = J_T \cdot \alpha_{p\min} = 2,01 \cdot 0,0417 = 0,084 Nm \quad (25)$$

moment 2 hřídelů, 2 dorazů, pružiny a převodovky v navíjecí části bude dle (26),

$$M_n = (J_h + J_{dor}) \cdot 2\alpha_{p\min} + (J_p + J_{pr}) \cdot \alpha_{p\min} = 5,13 \cdot 10^{-5} Nm \quad (26)$$

moment 2 hřídelů, 2 dorazů, 2 pružin a dutinky v odvíjecí části bude dle (27),

$$M_o = (J_h + J_{dor} + J_p) \cdot 2\alpha_{p\max} + J_d \cdot \alpha_{p\max} = 3,14 \cdot 10^{-4} Nm \quad (27)$$

a moment motoru bude dle (28)

$$M_m = J_m \cdot \alpha_{m\max} = 8 \cdot 10^{-4} \cdot 7,33 = 0,0059 Nm \quad (28)$$

Celkový rozběhový moment soustavy je potom 0,09 Nm.

Přídavný moment vzniklý třením textilie o podpurnou desku se určí z koeficientu počátečního tření a síly, která textilií zatěžuje. Koeficient tření f byl odhadnut na 0,1 a přítlačná síla F_p na 5 N. Síla F_t způsobená třením tedy bude 0,5 N a bude působit na rameni nejméně 0,04 m v okamžiku zahájení výroby a nejvíce na rameni 0,4 m při ukončování výroby. Výsledné momenty tedy budou při zahájení výroby dle (29) a (30),

$$M_{fr} = F_t \cdot r = 0,02 Nm \quad (29)$$

$$M_{jd} = F_t \cdot R = 0,2Nm \quad (30)$$

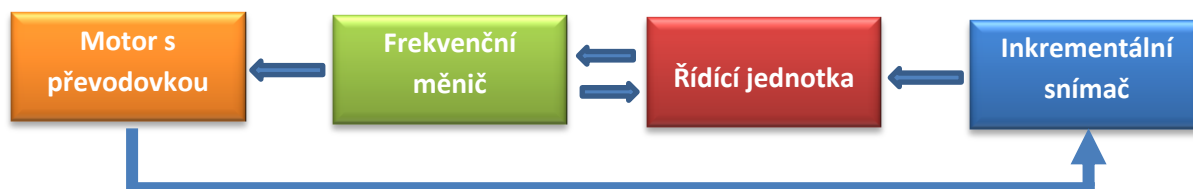
Tyto momenty je nutné přičíst k rozběhovým momentům. Výsledný moment vznikající při rozběhu soustavy pak bude v počáteční fázi výroby 0,076 Nm a v konečné fázi výroby 0,29 Nm. Protože moment motoru je 1,78 Nm a účinnost převodovky 0,54, bude maximální moment odpovídat hodnotě 0,96, což je výrazně více než potřebných 0,29 Nm. **Navržený pohon tedy vyhovuje** [5, 6, 7, 8, 10].

6.4. Řízení pohonu

Jak již bylo diskutováno, během výroby bude docházet ke změně průměru návinu, a proto úhlová rychlost návinu se musí plynule měnit. To lze řešit různými postupy, lze byl zvoleno zpětnovazební řízení. Dále budou popsány princip řízení a navržené konkrétní prvky. V běžném režimu, pokud není motor vybaven snímačem otáček nebo polohy natočení, není mezi frekvenčním měničem a motorem žádná zpětná vazba. Frekvenční měnič však dokáže nepřímou určit otáčky z jiných měřených veličin a otáčky tak určitým způsobem regulovat. V popisovaném případě však nejsou žádoucí konstantní otáčky motoru, ale konstantní rychlost posuvu. Proto je nutné měřit rychlost posuvu textilie a tuto informaci zpracovávat. Provedenými konzultacemi bylo zjištěno, že takový případ lze řešit prakticky následujícími způsoby.





- Frekvenční měnič s technologickým regulátorem, snímá se rychlost pohybu nebo velikost průměru návinu mechanicky s převedením na vhodnou elektrickou veličinu
 - + jednoduché a laciné řešení
 - dlouhá odezva a tím i nízká rychlost regulace
- Frekvenční měnič s řídicí jednotkou a snímáním rychlosti inkrementálním snímačem
 - +relativně jednoduché, vysoká přesnost, rychlá odezva
 - vyšší cena
- Frekvenční měnič s řídicí jednotkou a snímáním průměru návinu (laserem, ultrazvukem)
 - +složitější, vysoká přesnost, rychlá odezva
 - vysoká cena

Pro řízení byla vybrána varianta s inkrementálním snímačem, který bude kontaktně snímat rychlost posuvu textilie převedením posuvného pohybu na rotační. Signál ze snímače pak bude zpracován řídicí jednotkou, která komunikuje s frekvenčním měničem. Schéma zpětnovazebního řízení je ukázáno Obr. 6.1.



Obr. 6.1: Schéma řízení

Pro zvolený pohon byly vybrány následující prvky řízení uvedené v tab. 6.3

Prvek	Označení, obj. kód	Obrázek
Frekvenční měnič	SINAMICS POWER MODULE PM240-2, obj. č. 6SL3210-1PE11-8AL1	
Řídicí jednotka	SINAMICS G120 CONTROL UNIT CU250S-2 PN, 6SL3246-0BA22-1FA0	
Ovládací panel	SINAMICS G120 BASIC OPERATOR PANEL (BOP- 2), 6SL3255-0AA00-4CA1	
Inkrementální snímač	INCREM. ENCODER WITH RS 422 (TTL), 1024 P/R, 6FX2001-2CB02	

Tab. 6.3: Tabulka prvků řízení pohonu [10, 11]

6.5. Pohon vibrační desky

Vítězný koncept využívá pro vnášení granulátu do textilie vibrací. Z různých možností bylo vybíráno takové řešení, které by bylo bez velkých konstrukčních úprav použitelné pro

daný účel. Jako vhodné se jeví zařízení, které je určeno pro podávání materiálu účinkem vibrací. Jedná se o dvě pružně spojené desky, přičemž jedna z desek tvoří základnu a druhou je pohybováno pomocí elektromagnetu. Trajektorie výkmitu odpovídá tvarem paralelogramu, hodnota amplitudy je závislá na hmotnosti desky a tuhosti spojovacích elementů. Napájení je realizováno střídavým proudem o napětí 230 V. Napájecí zdroj slouží k regulaci intenzity, frekvence je konstantní. Dražší zdroje umožňují měnit frekvenci. Pro řešený problém byl vybrán lineární podavač AFAG HLF25-M, 230V/50Hz o příkonu 100 W. Pro řízení vibračního pohonu byl vybrán napájecí zdroj IRG 1-S 230 V / 50 Hz. Snímky obou zařízení



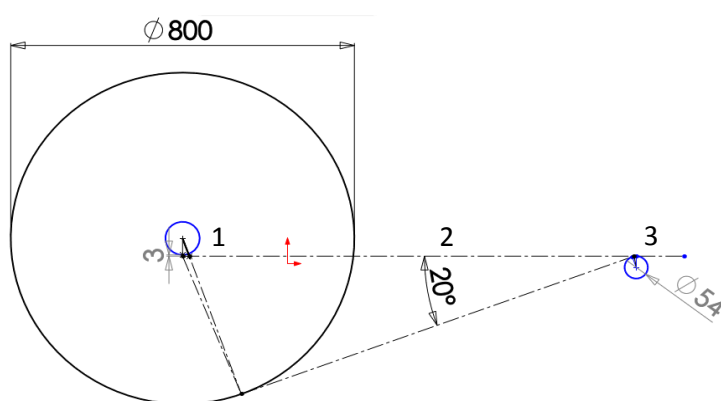
jsou na obr. 6.2 a 6.3.

Obr. 6.2 a 6.3: Lineární podavač a napájecí zdroj [12]

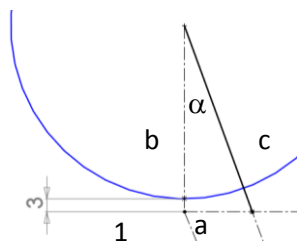
6.6. Kinematika textilního substrátu

Vzhledem k tomu, že pohon návinu je pevný a osa navíjecího bubnu není pohyblivá, bude docházet s nárůstem průměru nábalu ke změně sklonu textilie. Vzhledem k tomu, že horní strana textilie, do které granulát vzniká, je částečně otevřená, může docházet k vypadávání granulátu vlivem gravitace, pokud bude sklon textilie příliš velký. Experimentálně bylo zjištěno, že by úhel textilie s granulátem svíraný s vodorovnou rovinou neměl přesáhnout hodnotu $28,3 \pm 1,9^\circ$. Pro nalezení postavení pevného bodu, od něž bude textilie vedena k nábalu v okamžiku největšího průměru, se bude vycházet z hodnoty sklonu 20° . Tato hodnota je volena z důvodu zajištění dostatečné rezervy např. pro případ použití textilie s otevřenější strukturou nebo granulátu s větším rozptylem průměru granulátu. Při výpočtu se bude vycházet ze známé geometrie, která je dána vodorovnou rovinou a představuje počáteční stav navíjení – navíjecí buben je bez návinu. Rovina plochy, po které se posunuje textilie se, nachází o 3 mm (Obr. 6.4) níže než rovina procházející spodním okrajem navíjecího bubnu. Tato hodnota je dána tloušťkou textilie. Průměr navíjecího bubnu je 80 mm. Tato hodnota zároveň určuje hodnotu, ve které se textilie nachází v počátku navíjení.

Maximální velikost návinu se z důvodu manipulace a skladovatelnosti předpokládá 800 mm. Důvodem je fakt, že textilie a tedy i návin bude mít šíři pouze 100 mm a vzhledem k nízké tuhosti, je obtížné skladovat v poloze na plocho a ve vzpřímené poloze může mít návin tendenci se vlastní vahou deformovat a následně překlápět. Textilie se bude odvíjet z plochy, která je zakončena vhodným poloměrem. Pro výpočet byl navržen poloměr zakřivení 27 mm. Stav, ve kterém se nachází textilie v okamžiku největšího poloměru návinu, je ukázána na obr. 6.5. Jak je zřejmé, vodorovná vzdálenost mezi osou rotace navíjecího bubnu a poloměru zakřivení plochy se skládá ze tří úseků, jejichž délky lze určit následujícími výpočty. Délky jednotlivých úseků budou řešeny odděleně.



Obr. 6.4: Vstupní informace pro určení geometrického uspořádání prvků konstrukce



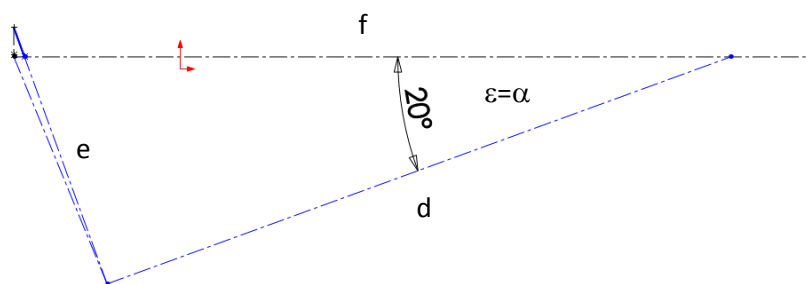
Obr. 6.5: Úsek 1

V části 1 se určí délky stran a , c na základě znalosti úhlu $\alpha=20^\circ$, poloměru $R_1=40$ mm a posunu roviny o 3 mm dle (31) a (32).

$$a = \tan \alpha \cdot 43 = 15,65 \text{ mm} \quad (31)$$

$$c = \frac{43}{\cos \alpha} = 45,75 \text{ mm} \quad (32)$$

Nyní lze určit délku úseku 2. Nejprve se určí z délky strany c a poloměru $R_2=400$ mm strana e dle (33) (Obr. 6.6).



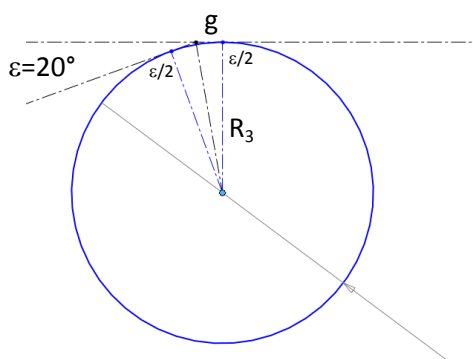
Obr. 6.6: Úsek 2

$$e = R_2 - c = 400 - 45,75 = 354,25mm \quad (33)$$

a dále stranu f dle (34)

$$f = \frac{e}{\sin \varepsilon} = 1035,76mm \quad (34)$$

Délka úseku 3 se stanoví ze znalosti poloměru zakřivení $R_3=27$ mm a znalosti příslušného úhlu dle (35) (Obr. 6.7).



Obr. 6.7: Úsek 3

$$g = \tan \varepsilon/2 \cdot R_3 = 4,76mm \quad (35)$$

Celková vzdálenost představující rozteč mezi osami navíjecího bubnu a zakřivením podpůrné desky je pak dána součtem všech výše určených délek úseků (36).

$$l = a + f + g = 15,65 + 1035,76 + 4,76 = 1056,17mm \quad (36)$$

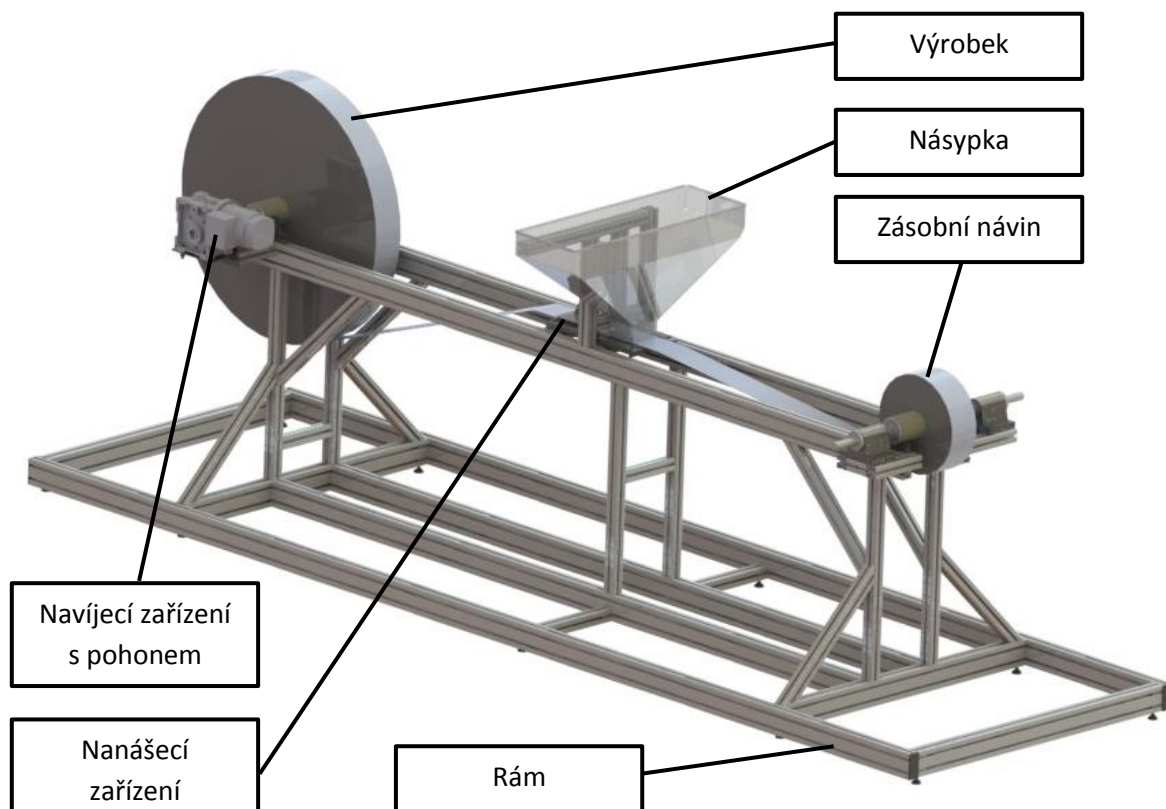
Rozhodující je však vzdálenost, která je mezi nábaelem v konečné fázi navíjení, tedy v okamžiku, kdy má průměr 800 mm. Od výše uvedené rozteče se tedy odečte poloměr náviny (37).

$$l_n = l - 400 = 656,17 \text{ mm} \quad (37)$$

Tento prostor je dostačující i pro případné připojení jednotky, která k povrchu připojuje samolepící vrstvu. Výpočtem byla zjištěna minimální vzdálenost mezi osou rotace navíjecího bubnu a zakončení plochy, po které se textilie pohybuje. Provedení zakončení může být různé, např. ohybem plochy pod vhodným poloměrem nebo válcem. Určení vzdálenosti je nutné nejen pro odpovídající konstrukční řešení, ale také pro případné umístění dalšího prvku zařízení – jednotky pro nanášení samolepící vrstvy, se kterým v této fázi není počítáno, ale může být v budoucnu použito.

7. Detailní konstruování

V první fázi byl vytvořen 3D model. Ten je ukázán na obr. 7.1. Konstrukce byla podrobena FMEA-K a modální analýze za účelem zjištění vlastních frekvencí rámu. Výsledky těchto analýz byly zapracovány do původního návrhu.



Obr. 7.1: Návrh zařízení

7.1. FMEA-K

FMEA je zkratkou z anglických Failure Mode and Effects Analysis. Jedná se o systematickou metodu identifikace procesních a produktových problémů dříve než vzniknou. FMEA je zaměřena na předcházení vad, zvyšování bezpečnosti a spokojeností zákazníků. Nejvhodnější je FMEA zavádět ve fázi návrhu výrobku nebo vývoje procesu, ačkoliv FMEA lze s výhodou aplikovat i na stávající produkt nebo proces [9]. FMEA byla vypracována spolu s týmem pracovníků zadavatele. Výsledek je ukázán na obr. 7.2.

___ systém		Jednoúčelový stroj		FMEA-K					Č. FMEA:			
___ podsystém									Strana			
___ součást									1 z 1			
Výrobek:				Odpovědnost za návrh:		Zpracoval:		Ondřej Novák				
Rešitelský tým:		Tvůrce DP		Rozhodné datum:		24.4.2015		Vypracováno:		21.4.2015		
Prvek/Funkce	Projev možné závady	Důsledek možné závady	Závažnost	Možná příčina/mechanismus závady	Vyskyt	Stávající opatření pro prevenci	Stávající řízení návrhu odhalování	Odhaditelnost	UPR	Doporučená opatření	Odpovídá/termín	Splněno
Spodní část rámu	Vysypání nezachyceného granulátu	Znečištění	7	Nepřímnost bariéry	7	–	Vizuálně	10	490	Záchytné koryto	Konstr./6.5. 2015	A
Násypka	Nadměrná sublimace jódu do okolí	Kontaminace ovzduší	9	Otevřený úložný prostor	8	–	Sensoricky	7	504	Krytka zásobníku	Konstr./6.5. 2015	A
	Výsyp granulátu při vyjmutí textílie	Znečištění, finanční ztráta	5	Volný vysypný otvor	5	–	Vizuálně	9	225	Záklopka zásobníku	Konstr./6.5. 2015	A
Podpůrný plech	Zúžení textílie od zvýšeného tahového napětí	Ztráta hlavní funkce	5	Zvětšení úhlu opásání	7	Nízká drsnost povrchu	Analytický výpočet	4	140	Umístění rotačního členu	Konstr./6.5. 2015	A
										Opatřit povrch plechu PTFE	Konstr./6.5. 2015	N
Deska vibračního mechanismu	Zastavení nebo zpomalení navijení	Ztráta hlavní funkce	4	Záchyt ok textílie za hrany desky	3	–	Experimentální ověření	3	36	Zvětšení poloměrů náběhů desky	Konstr./6.5. 2015	A
Pohon	Nadměrný vývin tepla	Poškození motoru/vznícení	10	Přehřátí motoru v důsledku nízkých otáček	2	–	Experimentální ověření	7	140	Nucené chlazení	Konstr./6.5. 2015	N
Rám	Pohyb rámu	Poškození konstrukce	10	Rezonance	2	–	FEM modální analýza	6	120	Dodatečné vyztužení rámu	Konstr./6.5. 2015	A
	Vibrace	Hlučnost	6	Přenos vibrací z vibračního motoru do konstrukce	3	–	FEM modální analýza	4	72	Upevnění pomocí silentbloků	Konstr./6.5. 2015	A
Stroj	Prašnost	Kontaminace čistých prostor	8	Přímé spojení pracovní části s okolím	7	–	Experimentální ověření	8	448	Zakrytování stroje	Konstr./6.5. 2015	A

Obr. 7.2: FMEA-K

Na základě výsledků FMEA byla implementována opatření odstraňující některé konstrukční nedostatky. Jednotlivé příklady budou ukázány dále. Důvodem bylo dosažení vysokých hodnot indexu UPR. Jako zásadní se jeví absence záchytného zařízení nevyužitého granulátu, modifikace násypky za účelem jejího uzavírání a zakrytování stroje, které představuje značné rozšíření konstrukce.

7.2. Modální analýza rámu

Pro posouzení chování konstrukce vlivem vibrací z externích zdrojů i zdrojů, které jsou součástí konstrukce, je nezbytné znát její vlastní frekvence. V případě existující konstrukce je možné provést experimentální měření, kdy vlivem vnějšího buzení lze pomocí diagnostiky a následného vyhodnocení frekvenčních charakteristik stanovit hodnoty frekvence vlastních kmitů. V případě návrhu konstrukce lze vlastní kmitů stanovit analytickým výpočtem, avšak u složitějších konstrukcí s velkým počtem prvků, které jsou navíc tvarově složité, je vhodné využít numerické analýzy, která při korektním zadání všech podmínek (geometrických, silových, okrajových) umožní získat poměrně přesné výsledky a posoudit tak konstrukci již ve fázi návrhu. Lze se tak vyhnout následným problémům a

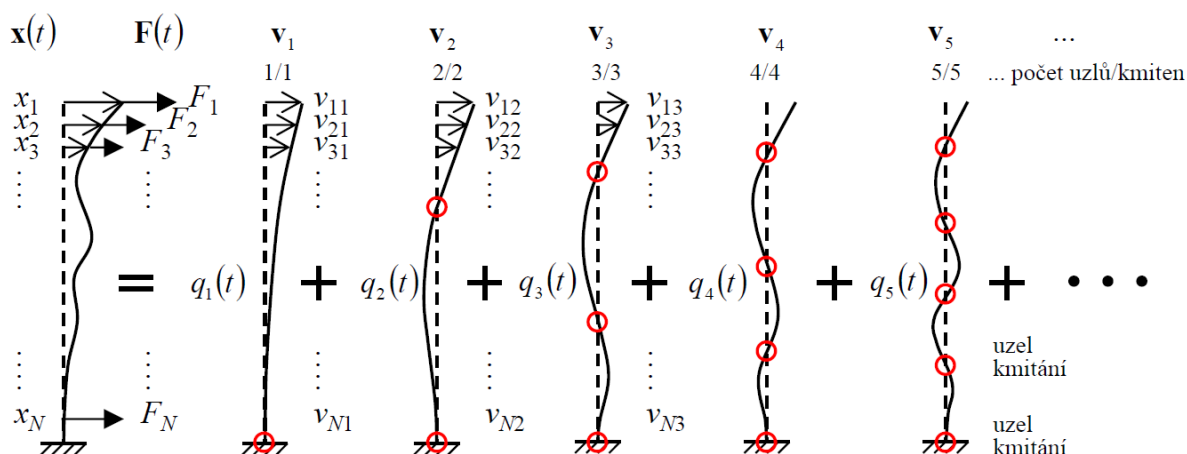
nutným optimalizacím, které mohou v době, kdy je zařízení již vyráběno představovat zvýšené náklady. Vlastní frekvence je frekvence, kterou soustava kmitá, aniž by byla buzena. Ve vyšetřovaném případě se jedná o netlumenou soustavu, jejíž vlastní frekvence se vypočítá dle (X).

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (38)$$

kde k je tuhost konstrukce a m je její hmotnost. Vlastní frekvence je nutné vyšetřovat v případě, že se předpokládá nějaké buzení. Pokud je intenzita buzení dostatečně vysoká může dojít k rezonanci, což je stav, kdy frekvence buzení je shodná s vlastní frekvencí konstrukce.

Důvodem provedení této analýzy je skutečnost, že na stroji jsou umístěny zdroje kmitání, jako např. elektromotor s převodovkou a zejména vibrační podavač, který zajišťuje plnění textilie granulátem. Proto se předpokládá, že by mohlo docházet ke kmitání rámové konstrukce a násypky a vzniku rezonancí na těchto částech, což by mohlo vést k nedokonalému nanášení granulátu na textilií a tudíž znehodnocení výsledného produktu. Vibrace mohou v neposlední řadě způsobovat hlučnost, která je značně nepříjemná pro obsluhu stroje. Proto byla provedena numerická analýza pro studii vlastních frekvencí výše uvedených klíčových částí zařízení prostřednictvím metody konečných prvků (MKP) v programu ANSYS 14.5, který má studentskou licenci na Katedře částí a mechanismů strojů.

Pro posouzení dynamického namáhání konstrukčního řešení od budících frekvencí byly provedeny modální analýzy. Modální analýzy zobrazí údaje o vlastních frekvencích konstrukce a ukáží tvary vlastních kmitů. Lze předpokládat, že budící části stroje jako např. pohony, mohou způsobit takové vybuzení, že bude docházet k přiblížení frekvence kmitání k vlastní frekvenci celé konstrukce, což by mohlo vést až k rezonancím. Prostřednictvím modální analýzy lze zhodnotit úpravu konstrukce rámu a její vliv na celkovou tuhost. Čím vyšší pořadí tvaru kmitu, tím vyšší frekvence, počet uzlů a kmiten, tj. čím složitější tvar kmitání jak je přiblíženo na obr. 7.3. Obecná rovnice pro výchylky vlastních tvarů kmitů je dána vztahem (39). Výsledkem modální analýzy je nalezení vlastních vektorů \mathbf{V}_n a vlastních čísel λ_n , což vychází z rovnice (40).



Obr. 7.3: Vlastní tvary kmitů vetknutého nosníku

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{v}_1 \mathbf{q}_1(t) + \mathbf{v}_2 \mathbf{q}_2(t) + \mathbf{v}_3 \mathbf{q}_3(t) + \mathbf{v}_4 \mathbf{q}_4(t) + \mathbf{v}_5 \mathbf{q}_5(t) + \dots \quad (39)$$

kde $\mathbf{x}(t)$ je vektor výchylek ve vodorovném směru za působení budících sil (vektoru sil) $\mathbf{F}(t)$ ve stejném směru \mathbf{v}_n je vektor vlastních tvarů kmitů, který je elementem libovolného kmitání struktur λ_n je vlastní číslo určující frekvenci a tlumení jednotlivých modů (způsobu a tvaru) kmitání $q_n(t)$ je zobecněná souřadnice, která představuje funkci, jenž je výsledkem řešení rovnice (40).

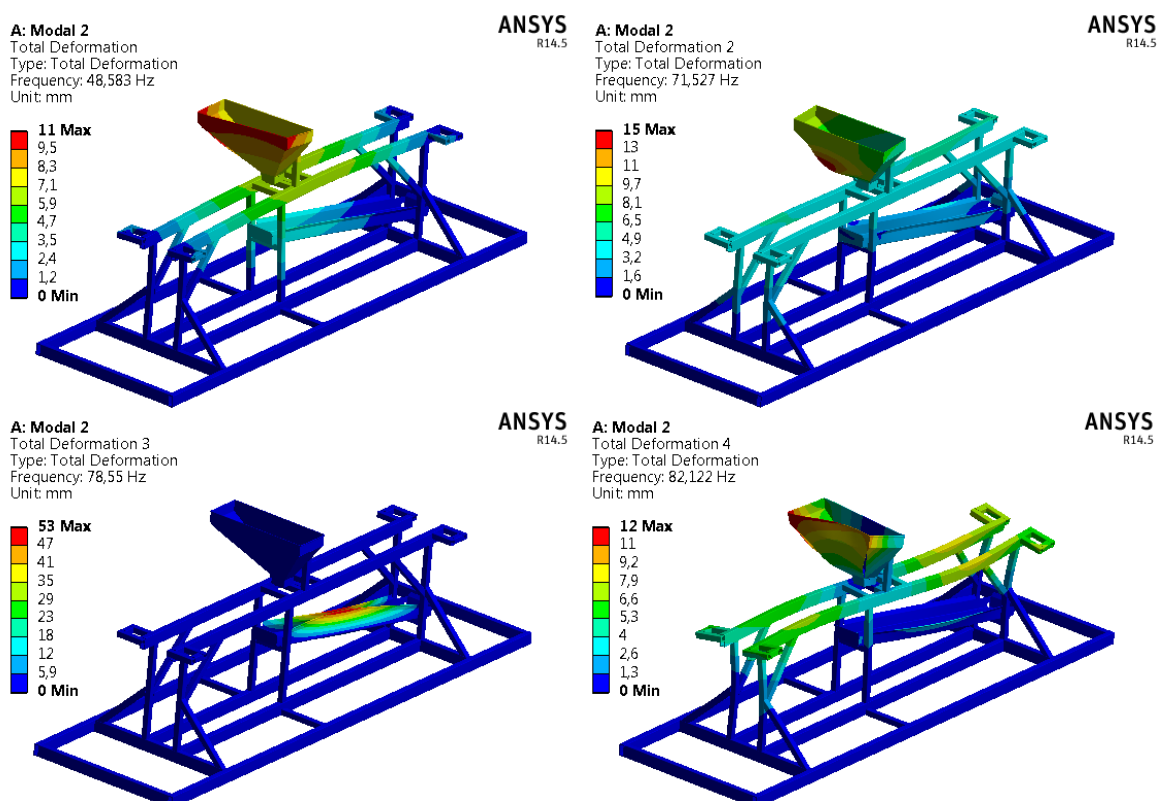
$$\ddot{\mathbf{q}}_n(t) + \lambda_n \mathbf{q}_n(t) = \mathbf{v}_n^T \mathbf{F}(t), \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (40)$$

Byly sestaveny dva numerické modely pro modální analýzu pro porovnání velikosti deformace od jednotlivých tvarů kmitů. V programu ANSYS byly vytvořeny zjednodušené modely (bez spojovacích dílů, budícího členu - motoru) zahrnující nosný rám, násypku a zachytávací vanu, tedy části, které budou mít tendenci vibrovat. Násypka a vana jsou řešeny proto, že jejich připevnění k rámu změní místa kmitání i hodnoty vlastních frekvencí. Modely jsou ukázány na obr. 7.4 a 7.5. Okrajové podmínky modální analýzy vycházejí z reálného zatěžování stroje během provozování, tzn., že stroj je upevněn za spodní část rámu. Jednotlivé prvky konstrukce jsou pevně spojeny.



Obr. 7.4 a 7.5: CAD model (vlevo), numerický model (vpravo)

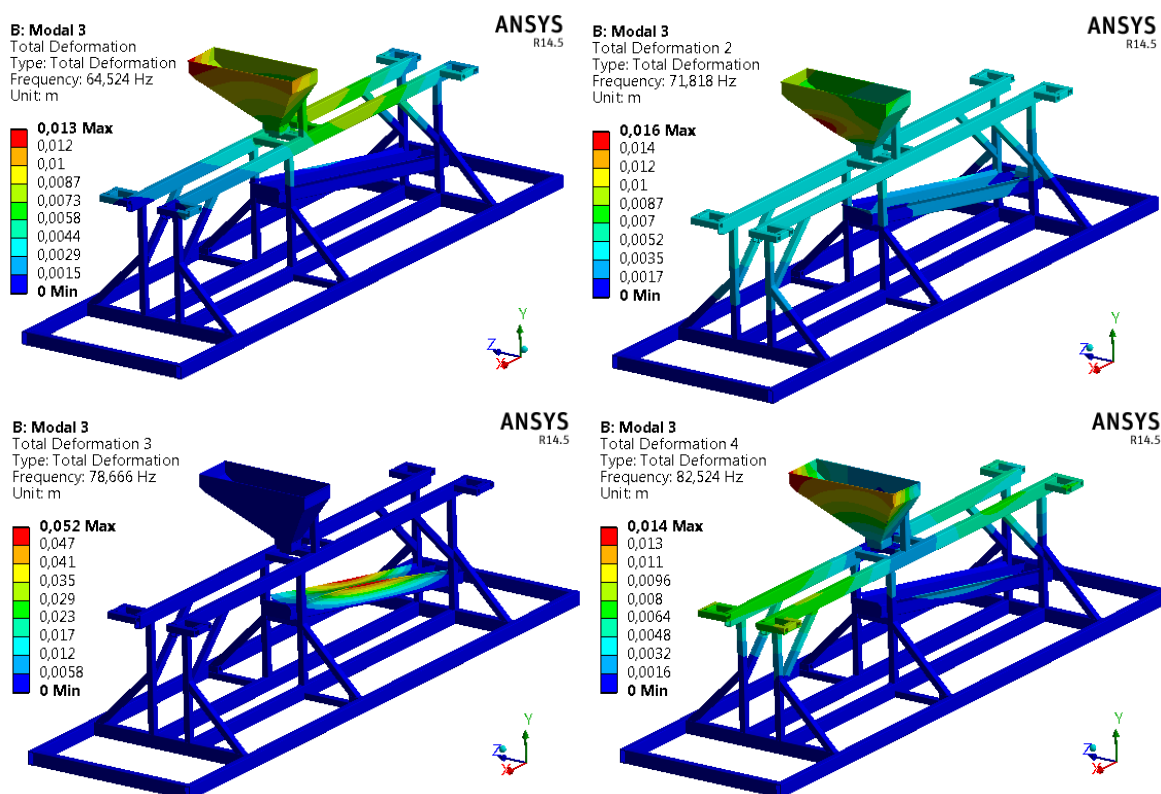
Výsledky modální analýzy jsou ukázány na Obr. 7.6. Zobrazeny jsou celkové deformace a hodnoty jednotlivých harmonických (módů).



Obr. 7.6: Vlastní tvary kmitů rámu

První mód má frekvenci blízkou 48,58 Hz, co je frekvence, na které bude po určitý relativně krátký čas (jednotky minut) provozován elektromotor pohonu, ale zároveň se jedná o frekvenci blízkou 50 Hz, na níž je provozován lineární podavač. Vzhledem ke kolísání parametrů síťového napětí může frekvence dosáhnout právě této hodnoty. Je zřejmé, že největší výkmit nastává u násypky a odpovídá hodnotě 11 mm. Výkmit rámu dosahuje

hodnoty přibližně 5 mm, což je taktéž nezanedbatelné. Další harmonické dosahují vlastních frekvencí na následujících hodnotách 71,527 Hz, 78,55 Hz, 82,122 Hz. Ty by však teoreticky neměly nastat. Deformace rámu jsou u druhé harmonické 4 mm, u třetí harmonické do 1 mm a u čtvrté harmonické 7 mm. Velké deformace nastávají u zachytávací vany při třetí harmonické (53 mm) a u násypky na čtvrté harmonické (12 mm). Z výše uvedeného vyplývá, že je vhodné provést modifikaci přidáním dalšího vyztužení rámu. Proto byla provedena další modifikace spočívající v přidání výztuže ve střední části rámu.



Obr. 7.7: Vlastní tvary kmitů modifikovaného rámu

Výsledky jsou zřejmé z obr. 7.7, kde je patrné výrazné snížení amplitudy výkmitu a také posuv hodnot vlastních frekvencí nad oblast 50 Hz. Tato modifikace tedy bude použita jako konečné řešení návrhu rámu.

7.3. Popis konstrukčního řešení jednotlivých částí stroje

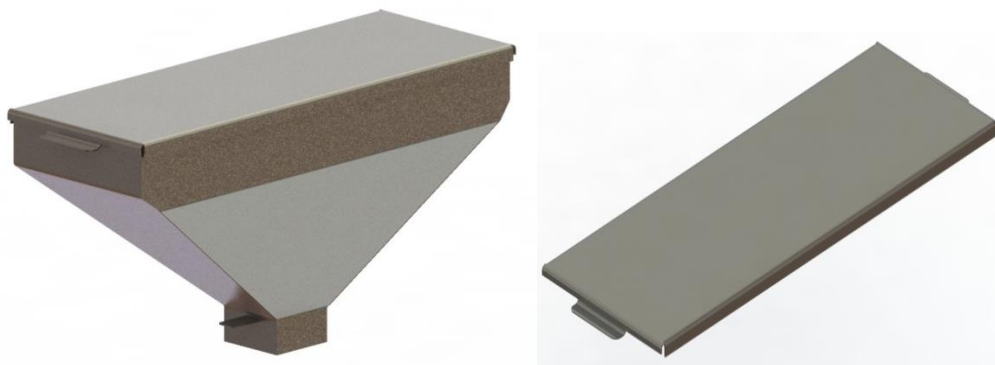
Tato kapitola je zaměřena na jednotlivé části stroje plnící požadované funkce. Popsána budou vybraná konstrukční řešení s detailnějším popisem použitých materiálů, mechanismů, geometrického uspořádání jednotlivých prvků, principů plnění funkce apod.

7.3.1. Nosná konstrukce stroje

Nosná konstrukce stroje je tvořena hliníkovými profily. Vybrána byla značka ITEM, protože zadavatel má některé stroje a zařízení realizovány právě z těchto profilů. Lze však použít i profily jiných výrobců, jako např. MayTec, Bosch a řady jiných. Spodní část konstrukce je tvořena rámem obdélníkového tvaru o půdorysném rozměru 3620x1080 mm. Spodní část rámu je opatřena podporami ITEM 0.0.434.52, které umožňují ustavení stroje do vodorovné roviny. Povrch těchto podpor je volen tak, aby umožňoval manipulaci stroje posuvem v případě potřeby změny pozice. Obvod rámu je tvořen profily 80x40 mm a 40x40 mm. Spojení profilů je realizováno spojovacími prvky ITEM 0.0.440.58. Na spodní část rámu je upevněn rám nesoucí navíjecí, odvíjecí, plnicí a záchytné zařízení. Použita byla kombinace profilů jako v předešlém případě. Snahou bylo využít pokud možno jen profilových prvků a nedoplňovat rám stroje o další nenormalizované prvky.

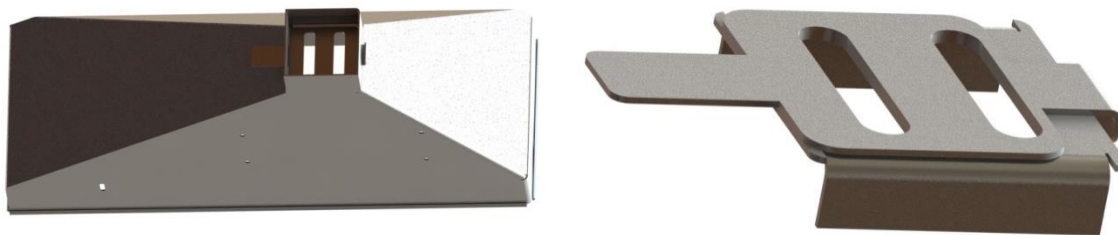
7.3.2. Zásobník granulátu

Tato část je tvořena z plechu 1.4000 (X6Cr13) o tloušťce 2 mm. Plech je řezán pomocí laseru, jednotlivé díly jsou tvarovány ohýbáním a spojeny svařením v ochranné atmosféře. Zásobník je ukázán na obr. 7.8 a 7.9. Na základě FMEA-K byla násypka doplněna o kryt (Obr. 7.10) a uzávěr výstupu (Obr. 7.11).



Obr. 7.8 a 7.9: Násypka s krytem a kryt

Uzávěr výstupu kromě možnosti zabránit granulátu vysypání při vyjmutí textilie dále zajišťuje konstantní tlak granulátu, kterým působí na textilií bez ohledu na naplnění násypky.



Obr. 7.10 a 7.11: Uzávěr násypky a detail konstrukce

Objem násypky byl navržen tak, aby nebylo nutné příliš časté doplňování granulátu (cca na jeden návin). Důvodem je skutečnost, že zeolitový komplex v běžném prostředí uvolňuje velmi rychle jód a váže vodu ve formě vzdušné vlhkosti.

7.3.3. Vibrační zařízení

Plnicí zařízení se skládá z vibrační desky, která vtlačuje granulát do textilního nosiče a držáku, kterým je připevněna k lineárnímu pohonu. Aby granulát snadněji pod desku vnikal, je opatřena náběhy pod určitým poloměrem. Držák je vyztužen, aby byla zajištěna dostatečná pevnost spojení i tuhost vibrující desky. Sestava je ukázána na obr. 7.12.

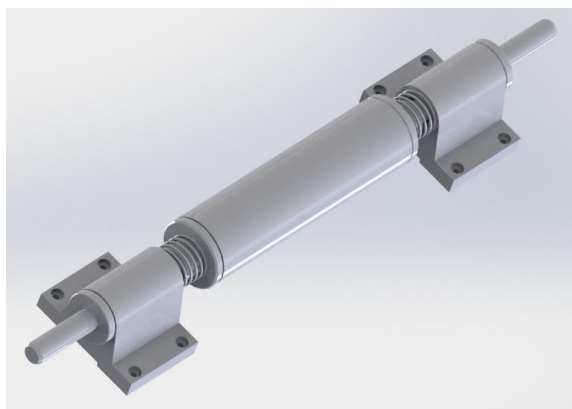


Obr. 7.12: Vibrační deska s držákem

7.3.4. Navíjecí zařízení

Zařízení pro navíjení textilie je složeno ze dvou konstrukčně shodně řešených částí (Obr. 7.13). První slouží k umístění zásobního návinu a umožňuje odvíjení, druhá část je poháněná elektromotorem přes převodovku a rozdíl spočívá v absenci tlačné pružiny na straně

pohonu, protože tento hřídel je upevněn do dutého hřídele převodovky. Dutinka se otáčí okolo své rotační osy spolu s axiálně posuvnými hřídeli zakončenými čely, která se nasunou do dutinky. Aby nedocházelo k vysunutí čel z dutinek, jsou zde použity tlačné pružiny, které přitlačují čela k dutince. Čela tlačí určitou silou do dutinky, aby docházelo k unášení dutinky vlivem tření. Hodnota potřebné síly není známa a bude nutno ji ověřit experimentálně při zkušebním provozu stroje. Hřídele se otáčejí v kluzných ložiscích z bronzu, která jsou nalisována v ložiskových domcích dle vlastního návrhu. Domky jsou vyrobeny obráběním, materiálem je hliníková slitina 1060. Při vyjímání dutinky se čela vysunou a dutinka se ocitne na přidržovacích dílech. Výškově jsou umístěny tak, aby s nimi nebyla dutinka v kontaktu při otáčení. Pro vysunutí čel z dutinky je třeba překonat odpor pružin.



Obr. 7.13: Navíjecí zařízení

7.3.5. Podpůrná deska

Textilie musí být v místě nanášení podpírána, aby vznikla potřebná tlaková síla, která umožní průnik granulí do struktury. Deska (Obr. 7.14) se skládá ze dvou dílů a to z nosné části vyrobené z hliníkové slitiny a leštěného nerezového plechu, po kterém se textilie posouvá s minimálním odporem.



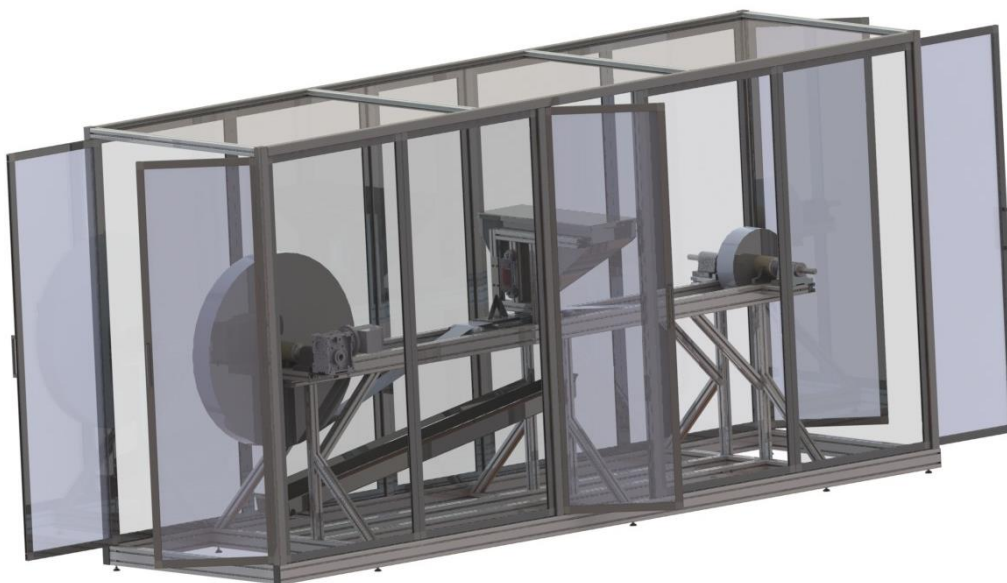
Obr. 7.14: Podpůrná deska s plechem

7.3.6. Zakrytování

Na základě FMEA-K bylo doporučeno opatřit stroj zakrytováním z důvodu snížení prašnosti a úniku výparů jódu do okolního prostoru. Kryt byl zhotoven z profilů ITEM určených pro výplně. Vzhledem k navrženému spojení profilů s kolečky je možné pevné výplně v případě potřeby snadno vyjmout nebo v drážce profilu posouvat. Výplně byly navrženy ve dvou variantách a to jako neprůhledné v pevných částech a s transparentní výplní dvířek (Obr. 7.15) a jako transparentní (Obr. 7.16).



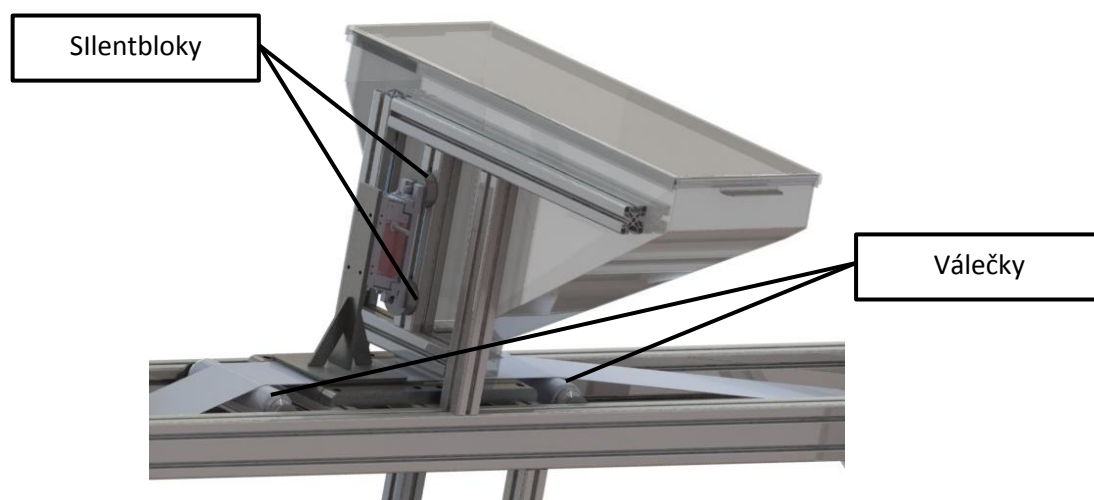
Obr. 7.15: Varianta částečně transparentního zakrytování stroje



Obr. 7.16: Varianta transparentního zakrytování stroje

7.3.7. Úprava vedení textilie a tlumení vibračního členu

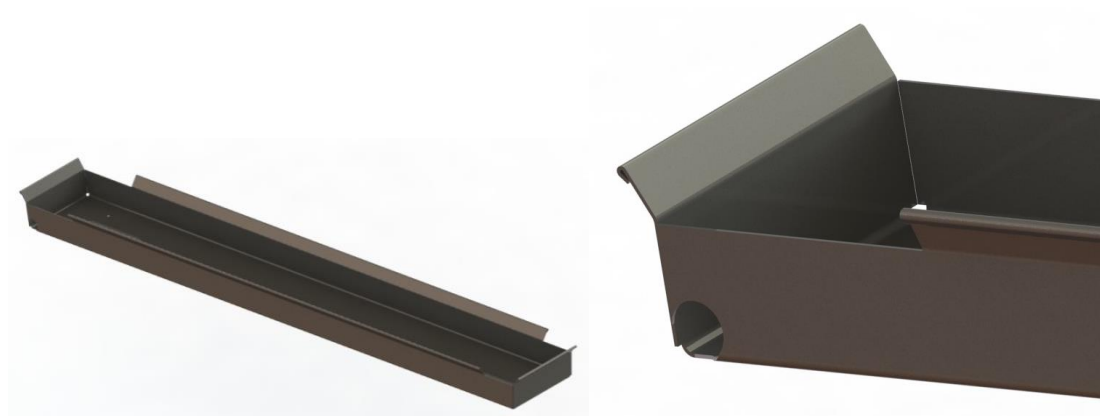
Dle FMEA-K bylo doporučeno doplnit podpůrnou desku o otočné válečky (Obr. 7.17), které zajistí konstantní odpor textilie proti posunu. Použity byly válečky pro dopravníky Interroll s antistatickým povrchem z PVC. Dále byly použity tlumící prvky (silentbloky) mezi vibračním členem a rámem.



Obr. 7.17: Válečky a tlumící prvky

7.3.8. Záchytná vana

Dle FMEA-K bylo doporučeno opatřit stroj záchytnou vanou (Obr. 7.18), která bude umístěna pod oblast, v níž se pohybuje textilie s granulátem, tedy od nanášecí části po navíjecí část. Vana je vyrobena ze stejného materiálu jako násypka. Je umístěna pod mírným sklonem, přičemž ve spodní části je opatřena otvorem pro vybírání granulátu (Obr. 7.19). Granulát pak může být opakovaně opět použit. Otvor je možno zaslepit zátkou.



Obr. 7.18 a 7.19: Záchytná vana a detail vybíracího otvoru

7.3.9. Metody DFX

Při tvorbě konstrukčního návrhu je vhodné a žádoucí postupovat tak, aby byly zajištěny nízké náklady na výrobu. Proto je nutné používat jednoduchá, nejlépe známá řešení, jednotlivé části zařízení vyrábět snadno a rychle, maximálně využívat levných a dostupných materiálů, pokud je to možné používat hotové díly. Montáž a demontáž by měla být jednoduchá s minimem nadbytečných kroků. Tyto zásady jsou známy pod zkratkou DFX (Design For ...), kde písmeno X zastupuje příslušný druh konstruování tak, jak je ukázáno níže:

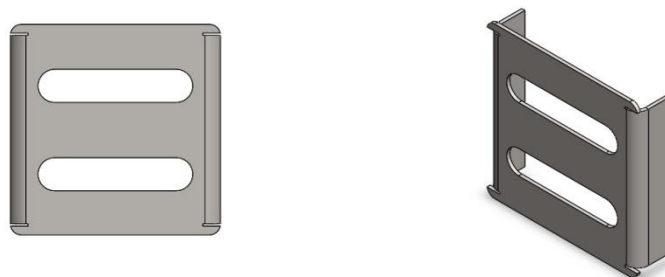
- konstruování s ohledem na montáž (DFA)
- konstruování s ohledem na jednoduchou výrobu (DFM)
- konstruování s ohledem na demontáž (DFD)
- konstruování s ohledem na životní prostředí (DFE)
- konstruování s ohledem na snadnou údržbu (DFMT)
- konstruování s ohledem na snadné balení (DFP).

Nedodržení těchto zásad může vést k navýšení výrobních nákladů, které se ve fázi výroby obtížně redukuje. Dále budou uvedeny příklady metod DFX při návrhu konstrukce zařízení. Vzhledem k tomu, že se jedná o jednoúčelové zařízení, které se vyrobí v jednom exempláři, nemají tyto metody pro daný úkol až tak velký význam. Ten se projeví u hromadné a sériové výroby, kdy se výrobní či montážní operace mnohonásobně opakují.

DFM – Design For Manufacture

Pro dodržení zásad DFM při výrobě jednoúčelového stroje bylo využito mnoha existujících výrobků a polotovárů. Nosný rám stroje a ochranný kryt je navržen z hliníkových profilů, kde rozmanitost jejich provedení umožňuje využití v mnoha průmyslových oblastech. Výplň rámu chránících okolí před prašností a hlukem stroje je realizována polymerním transparentním materiálem doporučeným výrobcem profilů. Jedná se o polyetylen. Nenormalizované díly, které bude nutné vyrobít, jsou navrženy ze slitin hliníku nebo nerezových ocelí. Ocel (druh oceli) bude přednostně použita tam, kde by díl z hliníkové slitiny byl příliš masivní. To není v souladu se zásadami DFX, protože by bylo možné dosáhnout požadovaných mechanických vlastností pomocí běžných, výrazně levnějších a snadněji zpracovatelných materiálů. Použití nerezové oceli však není dáno požadavkem na mechanické vlastnosti, ale požadavkem na využití zařízení v čistých prostorech. Díly z plechů budou řezány laserem. V případě nutnosti

tvarování budou plechy ohýbány a spojovány svařováním. Většina dílů se obrábí na jedno upnutí polotovaru, povrchy se dodatečně neopracovávají. K příkladům využití DFM patří např. návrh ohýbání plechů (Obr. 7.19). Ohyby jsou navrženy se shodnými poloměry a směry vícenásobných ohybů [13, 14].

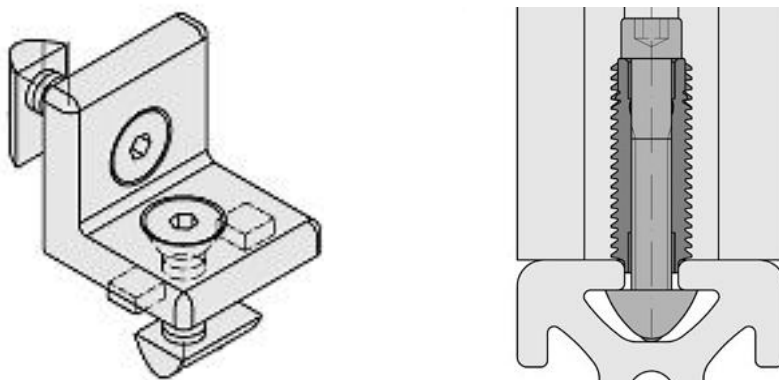


Obr. 7.19: Návrh ohýbání plechů

Pokud je to možné, jsou navrženy netolerované (volné) rozměry. Tyto jmenovité rozměry musejí i bez uvedení tolerance splňovat určitá kritéria přesnosti, která jsou dána normou ČSN ISO 2768-1 pro jednotlivé délkové rozměry ve čtyřech třídách přesnosti. V konstrukčním návrhu jsou takto kotovány délky všech profilů, plastových výplní a otvory pro šroubové spoje. S tolerancemi jsou uvedeny pouze díly, kde je přesnost výroby nezbytná pro zajištění spolehlivé funkce. Patří sem hřídele, domečky ložisek a některé plechové díly, které po spojení vytvářejí pohyblivý mechanismus.

DFA – Design For Assembly

Pokud mají být dodrženy zásady DFA, měla by být navrhovaná řešení pokud možno jednoduchá s malým počtem součástí. Pro ilustraci bude ukázáno zjednodušení montáže a konstrukčního návrhu na provedení spojení dvou navzájem kolmých profilů. Na obr. 7.20 a 7.21 jsou ukázána dvě možná provedení spojení. První z nich používá úhlové spojky, přičemž jsou nutné dvě matice se šrouby. Pro dokonalé spojení je třeba dvou takových spojek. Druhý obrázek ukazuje spojení pomocí rychlospojek, kdy vložka šroubu je umístěna pevně do profilu prostřednictvím závitového spoje. K tomu je nutné plášť zašroubovat, čímž se v profilu vytvoří závit.



Obr. 7.20 a 7.21: Různé způsoby provedení rohového spoje

Pro výpočet technologičnosti bude použita metoda DFMA. Ta byla vyvinuta v 70. letech minulého století G. Boothroydem a P. Dewhurstem z Massachusettské univerzity.

Metoda DFMA je určena pro stanovení efektivity montáže (původně jen automatizované) a vychází z jednoduchého vzorce v následujícím tvaru (41),

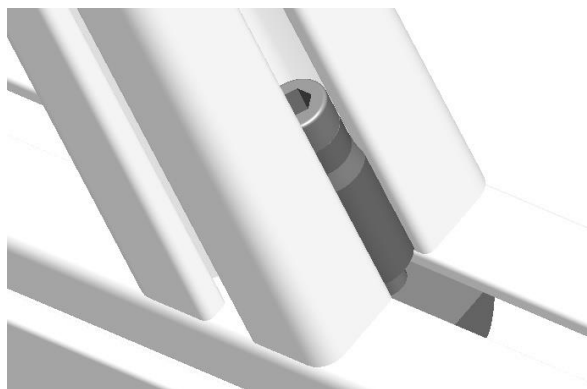
$$E_m = \frac{3 \cdot NM}{CMN}, \quad (41)$$

kde NM představuje teoreticky nejmenší počet dílů, CMN celkový čas montáže a s počet dílů.

Parametr	Spojení úhelníky	Spojení rychlospojkami
Em	14,5 %	15 %
Celkový čas montáže návrhu	62	60
Počet dílů	12	8
Teoretické minimum dílů (NM)	3	3
% potřebných dílů	25 %	37,5 %

Tab. 7.1: Porovnání efektivity montáže

Z tabulky 7.1 je zřejmé, že použitím jiného způsobu upevnění došlo k malému nárůstu montážního času, ale s výrazně menším počtem dílů, což vede k úsporám materiálu a hmotnosti a snížení komplexity systému. Důležité může být i umístění spojovacího prvku uvnitř profilu, zatímco úhelníkové spojení zasahuje do prostoru mezi profily a zmenšuje tak využitelný prostor. V neposlední řadě je výhodou montáž bez nutnosti speciálního nářadí. Na obr. 7.22 je ukázka realizace spoje v konstrukčním návrhu.

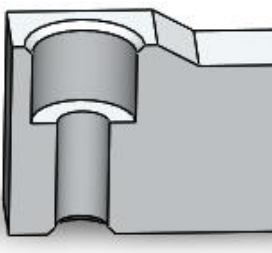


Obr. 7.22: Realizace spoje

Dále budou ukázány příklady aplikovaných metod DFA v konstrukci jednoúčelového stroje.

Otvory pro závitové spoje

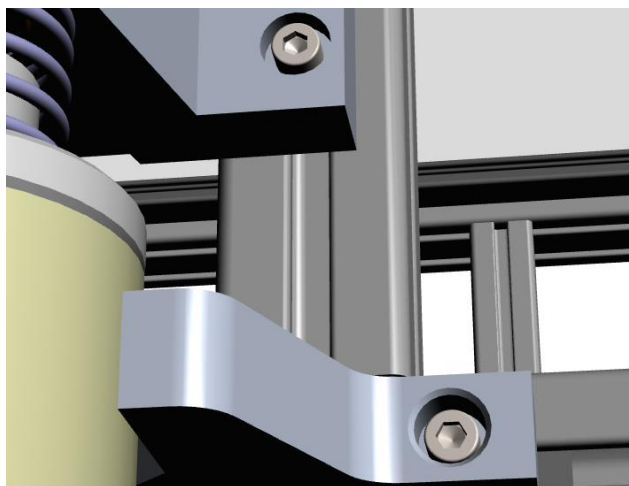
Usnadnění montáže u šroubových spojů je zajištěno naváděcími otvory, jak je ukázáno na obr. 7.23 bez použití závitů. To zkrátí čas výroby dílu. Montáž je také usnadněna tím, že hlava šroubu není zapuštěna příliš hluboko a lze jej snadno utahovat či povolovat.



Obr. 7.23: Realizace otvoru pro zapuštění hlavy šroubu

Šrouby s hlavou pro strojní utahování

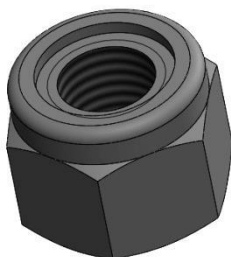
Pro urychlení montáže jsou používány šrouby s vnitřním šestihranem (Imbus), které navíc umožňují realizovat šroubové spoje se zapuštěnou hlavou, jak je ukázáno na obr. 7.24. Otvory jsou navrženy tak, aby umožnily případné zakrytí otvoru záplekami.



Obr. 7.24: Zapuštění hlav šroubů

Použití samojistících matic

Samojistící matice (obr. 7.25) zajišťují spoj proti samovolnému povolení vlivem vibrací. Další výhodou je také redukce počtu dílů, protože není nutné použít pérovou podložku. Jsou použity u všech pohonů.



Obr. 7.25: Samojistící matice

Metoda DFE (Design for Enviroment)

Filozofii DFE je vytvářet výrobky s ohledem na dopad na životní prostředí. Cílem je využívat takové materiály a výrobní postupy, které jsou energeticky nenáročné a nejsou zdrojem škodlivých emisí. Kromě ekologické výroby je kladen důraz také na ekologickou likvidaci. Jak již bylo zmíněno, výrobek používá téměř výhradně kovové materiály, které lze snadno a efektivně recyklovat. Také plasty použité pro krytování lze recyklovat a opětovně využít.

Metoda DFD (Design for Disassembly)

Důraz na snadnou demontáž je kladen na výrobek nejen z důvodu údržby, případných oprav nebo výměny poškozených dílů, ale souvisí také s následnou recyklací výrobku. S výjimkou ložisek, která jsou lisována a plechových dílů, které jsou svařovány, jsou všechny spoje závitové a tedy snadno demontovatelné. Rámová konstrukce stroje je navržena tak, aby ji bylo možné např. v případě neupotřebení pro navrhovaný účel využít pro jiný jednoúčelový stroj, či ji použít k přestavbě na jiné zařízení, neboť díly jsou demontovatelné bez poškození. Všechna spojovací místa jsou přístupná a spoje lze demontovat bez použití speciálních nástrojů. Elektrická zařízení, kam patří především frekvenční měnič, elektromotor a elektroinstalace bude likvidována dle příslušné legislativy a použitá zařízení odpovídají všem příslušným legislativním nařízením.

8. Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení bude lze provést různými způsoby. Pro vybrané konstrukční řešení bude provedena nejprve hodnotová analýza vybraného konstrukčního uzlu a poté nákladová analýza celého navrhovaného řešení.

8.1. Hodnotová analýza

Hodnotová analýza VA/VE (zkratka z 65angl. Value Analysis/Value Engineering). Jedná se o systematický a organizovaný postup sloužící k rozhodovacímu a posuzovacímu procesu. Hodnotová analýza může být použita pro široký rozsah aplikací. Pomáhá kreativně vytvářet alternativy k zajištění nezbytných funkcí na co nejvyšší úrovni při co nejmenší ceně, což jinými slovy představuje hodnotu. Lze se také setkat s odvozenými názvy, jako je např. hodnotový management, nebo hodnotové plánování. Pro hodnotovou analýzu bude použit vybraný konstrukční uzel navrhovaného jednoúčelového stroje. Důvodem pro toto rozhodnutí je skutečnost, že celé zařazení i přesto, že je velmi rozsáhlé, je z velké části tvořeno díly, které nemohou být nahrazeny bez snížení kvality, funkčnosti, kompatibility s dalšími zařízeními a nemohou pružně reflektovat např. požadavek na další rozšiřování zařízení. K těmto zařízením patří pohony, řídicí elektronika, ale také rámová konstrukce zařízení, která je vytvořená z typizovaných dílů. Vybraným konstrukčním uzlem je navíjecí zařízení, které bylo pro stroj individuálně navrženo. Z hodnotové analýzy bude vyňat kompletní pohon. Jednotlivé díly konstrukčního uzlu zařízení jsou uvedeny v tab. 8.1 a k nim jsou přiřazeny funkce, které plní. Dále je určeno, zda se jedná o funkci primární, tedy základní nebo funkci sekundární, bez které by bylo zařízení nefunkční, ale přímo se nepodílí na vykonávané základní funkci.

KOMPONENTNÍ ANALÝZA					
Systém	Číslo pozice	Díl	Funkce	Typ	
				P	S
Navíječ	1	Pružina	Zajišťuje přítlak		X
	2	Hřídel	Otáčí dutinkou	X	
	3	Doraz	Vymezuje axiální posuv		X
	4	Podpěra	Brání pádu		X
	5	Dutinka	Nese textílii	X	
			Spojuje hřídele		X
	6	Ložiska	Umožňuje rotační pohyb		X
			Umožňuje axiální pohyb		X
	7	Pryžový návlek	Zabraňuje axiálnímu posuvu		X
			Zlepšuje úchop		X
	8	Domek	Drží ložiska		X

Tab. 8.1: Va/Ve komponentní analýza vybraného konstrukčního uzlu

Dále je určeno, jak se jednotlivé díly podílejí na plnění funkce a to jak z pohledu míry zapojení, tak i z pohledu ceny, která je této funkci přiřazena.

číslo pozice	Funkce		Zajišťuje přítlak	Otáčí dutinkou	Vymezuje axiální posuv	Brání pádu	Nese textílii	Spojuje hřídele	Umožňuje rotační pohyb	Umožňuje axiální pohyb	Zabraňuje axiálnímu posuvu	Zlepšuje úchop	Drží ložiska
	Element												
		Významnost [Náklady (Kč)]											
1	Pružina	15	100,00% 15										
2	Hřídel	105,9		100,00% 105,9									
3	Doraz	22			100,00% 22								
4	Podpěra	18				100,00% 18							
5	Dutinka	0					50,00% 0	50,00% 0					
6	Ložiska	25							50,00% 12,5	50,00% 12,5			
7	Přizový návlek	3									50,00% 1,5	50,00% 1,5	
8	Domek	250											100,00% 250
S [%]		100%	3,4%	24,1%	5,0%	4,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%	57,0%
S [%]		438,9	15	105,9	22	18	0	0	12,5	12,5	1,5	1,5	250

 Položky nejvíce ovlivňující náklady pro primární funkci

 Položky nejvíce ovlivňující náklady pro sekundární funkce

Tab. 8.2: Tabulka hodnotové analýzy

Pomocí provedené analýzy bylo zjištěno, že na ceně se velmi významně podílejí dva díly a to hřídel, který unáší dutinku (24,1 %) a tím plní primární funkci a domek ložisek, jenž se podílí 57 % na celkové ceně. Je nutné podotknout, že nejvyšší náklady jsou vynaloženy na

sekundární funkci. Důvodem je jednak požadavek na materiál z důvodu užití v čistých prostorech a také vlastní konstrukční řešení. V případě vícekusové výroby by bylo vhodné se na zmínění díly zaměřit a pokusit se najít vhodnou optimalizaci řešení za účelem snížení ceny. Zajímavou informací je také zjištění, že jednu ze dvou primárních funkcí plní dutinka, jejíž cena je však nulová, protože je součástí dodávaného textilního nosiče. V tomto směru lze tedy navržené řešení považovat za ideální.

8.2. Celkové náklady

Na základě poptávky od dodavatelů pohonů, mechatronických systémů, polotovarů, dodavatelů hutního a spojovacího materiálu, kovovýroby apod. byly získány náklady jednotlivých dílů a částí zařízení, které budou shrnuty v tab. 8.3.

Položka	Popis	Specifikace	Cena
Pohon	Motor	Elektropřevodovka	9267,8
	Převodovka	SIMOGear 2KJ3601-5BC11-2DJ2	
Řízení pohonu	Frekvenční měnič	SINAMICS power module PM240-2	5656,2
	Řídící jednotka	SINAMICS G120 control unit CU250S-2 PN	7424,2
	Inkrementální snímač	INCREM. ENCODER 1024 P/R	4111,8
	Ovládací panel	SINAMICS G120 basic operator panel (BOP-2)	726,3
	Silové a signální kabely	6FX5002-2CR00-1BA0; 6SL3255-0AA00-2CA0	2643,7
	Software	STARTER COMMISSIONING TOOL FOR SINAMICS AND MICROMASTER VERSION V4.4 HF3	634,9
Rám	Hliníkové profily ITEM 0.0.026.04, 7.0.000.09, 0.0.373.67, 32x18-676:1	Item8 80x40, Item 8 40x40, 0.0.373.67 Profile 8 32x18-676:1	58 965
	Spojovací prvky ITEM 0.0.440.58, 0.0.494.73	0.0.494.73 Item 8 32x18, 0.0.494.74 Item 8 32x18	7 865
	Podpěry 0.0.434.52	Knuckle Foot D30 M6x45	580
	Krytky profilů		362
	Transparentní výplně		14653
Ostatní spojovací materiál			947
Elektroinstalační materiál	Stop-spínače, dveřní spínače	MZ530N, HS5D-02RN	2100
Kabeláž	5x1,50 mm ²	H05RR-F 5G1,5	290
Soustružení	Nerez		3800
Frézování	Nerez		2600
Ostatní hutní materiál			4600
Násepka, vana	Nerezový plech	T2 1.4000 (X6Cr13)	1824
	Řezání plechu laserem		1950

	Svařování		1600
	Ohýbání		2100
Nanášecí zařízení	Válečky	Interroll D=54 mm	660
	Vibrační pohon	AFAG HLF25-M, 230V/50Hz	16 080
	Řízení výkonu vibr. pohonu	IRG 1-S 230 V / 50 Hz	5500
Celkem			147 673,1 Kč

Výsledná cena byla určena na **147 673 Kč** bez DPH. V ceně není zahrnuta montáž, která proběhne na pracovišti zadavatele. Některé ceny se mohou lišit v závislosti na kolísání kurzu či možnosti získat množstevní slevu. Náklady na pořízení stroje jsou relativně vysoké, lze však předpokládat, že možnost výroby kvalitativně nového výrobku povede ke zvýšenému zájmu trhu a investice tak bude rychle navrácena.

9. Závěr

Diplomová práce řešila inovaci vláknenného nosiče granulárního zeolitu pomocí jednoúčelového stroje, která vycházela z požadavků zadavatele diplomové práce tedy firmy Batis a na jejich základě byly stanoveny zákaznické potřeby. Následovalo seznámení s problematikou a byl proveden rozbor současného stavu s využitím vepolové analýzy a metody TRIZ, kde byly zjištěny možnosti řešení problému. Na základě těchto poznatků bylo navrženo šest konceptů možného řešení. Principy konceptů možných řešení vycházely z fyzikální zákonitosti, tj. využití gravitace v podobě konceptů č. 3 a 4 (transfer a gravitace), s využitím vnějšího silového působení (vibrace, podtlak...), které bylo využito v konceptech č. 1, 2, 5 a 6. Na základě rozhodovacích tabulek byla vybrána 3 vhodná řešení, která se nejvíce přibližovala požadavkům zadavatele. Jednalo se o tyto koncepty kartáč, vibrace a šanžírování, ze kterých se dále vybrala na základě váhových kritérií vítězná varianta tj. koncept vibrace. Vítězná varianta byla uceleně zpracována, tj. nejprve se provedl návrh geometrického uspořádání jednotlivých konstrukčních uzlů (6.6), provedly se výpočty vybraných navrhovaných částí motoru a převodovky, na jejichž základě byl vybrán reálný motor a převodovka pro vítězný koncept. Vzhledem k tomu, že motor bude během provozu průběžně měnit otáčky, navrhl se k motoru a převodovce ještě vhodný způsob zpětnovazebního řízení využívajícího inkrementální snímač spojený přes řídicí jednotku s frekvenčním měničem. Řešení bylo dále rozpracováno pomocí dalších inovačních metod s cílem nalézt případné nedostatky ve fázi návrhu. Pomocí FMEA-K byly nalezeny některé nedostatky, které se týkaly např. nadměrné prašnosti a hlučnosti, tlumení vibrací, úniku jódu do ovzduší a pro ně byly navrženy vhodné optimalizace. Nadměrná prašnost a hlučnost byla vyřešena kompletním zakrytáváním konstrukce, zvýšení tlumení vibrací bylo docíleno přidáním pružných prvků – silentbloků vložených mezi lineární podavač a konstrukci stroje, únik jódu se vyřešil zakrytáváním násypky. Konstrukční řešení je navrhováno se dvěma zdroji buzení a to lineárním podavačem pracujícím na frekvenci 50 Hz a motorem, který pracuje ve frekvenčním pásmu 5 - 50 Hz. Tyto frekvence mohou být blízké vlastním frekvencím zařízení. Proto se vytvořila modální analýza navrhované konstrukce prostřednictvím numerické simulace v programu ANSYS Workbench 14.5. Výsledkem bylo stanovení vlastních tvarů kmitů, přičemž 1 harmonická se s hodnotou 48,6 Hz blíží k budící frekvenci. Vzhledem k tomu, že by mohlo dojít k rezonanci, provedla se modifikace konstrukčního řešení v podobě návrhu dalšího vyztužení pro přeladění vlastních frekvencí a provedla se další numerická simulace. Výsledky stanovily hodnotu 64,5 Hz 1 harmonické, což vedlo k tomu, že

vlastní frekvence konstrukce se již nachází v pásmu ležícím mimo oblast budících frekvencí a tedy nehrozí vznik rezonance. Dále byl v práci diskutován soulad konstrukčního řešení s metodami DFX, které byly demonstrovány a popsány na vybraných příkladech. Vítězná varianta konstrukčního řešení byla s výše uvedenými optimalizacemi zpracována do výkresové dokumentace. Na závěr bylo provedeno ekonomické zhodnocení konstrukčního řešení pomocí VA/VE vybraném konstrukčním uzlu a také celé konstrukce, které stanovilo, že vynaložené prostředky mohou být rychle navráceny díky možnosti výroby kvalitativně nového výrobku.

Výsledkem diplomové práce je konstrukční řešení zařízení pro výrobu inovovaného vlákenného nosiče granulárního zeolitu pomocí jednoúčelového stroje.

Literatura:

- [1] KOMAN, Karl, Claudia ARNOLD a Urs RUEGGER. *Wound treating agent: US20060078628 A1*. Dostupné také z: <https://www.google.cz/patents/US20060078628>
- [2] Lepšík, P., Mašín I.: *Řízení projektů*, TU Liberec, 2012, 202 s. ISBN 978-80-7372-854-0
- [3] MAŠÍN, I., JIRMAN P.: *Metody systematické kreativity*, TU Liberec: 2012, 138 s. ISBN: 978-80-7372-853-3
- [4] MAŠÍN, I. *Inovační inženýrství - Plánování a návrh inovovaného výrobku*, Skriptum TUL Liberec: 2012. 178 s. ISBN: 978-80-7372-852-6
- [5] KŘÍŽ, R. - VÁVRA, P. *Strojírenská příručka (svazek 6)*. Praha: SCIENTIA, spol.s.r.o., 1995. 291 s. ISBN 80-85827-88-3
- [6] PEŠÍK, L. *Části strojů (2.díl)*. Skriptum TUL. Liberec: 2010. 236 s. ISBN 978-80-7372-574-7
- [7] Prášil, L.: *Části a mechanismy strojů*, TUL Liberec, 1988
- [8] PEŠÍK, L. *Části strojů (1.díl)*. Skriptum TUL. Liberec: 2010. 226 s. ISBN 978-80-7372-573-0
- [9] Raymond J. Mikulak, Robin McDermott, Michael Beauregard, *The Basics of FMEA*, 2nd [10] Edition, CRC Press, 2008, ISBN 1439809615, 9781439809617
- Helical worm geared motors* [online]. 2014. [cit. 2015-04-01]. ISBN . Dostupné z: <http://motoren-francoys.be/wp-content/uploads/2013/09/20150118185447.pdf>
- [11] Siemens global website. . [online]. 20.4.2015 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.siemens.com/entry/cc/en/>
- [12] *Technical data AFAG HLF-M* [online]. 2014. [cit. 2015-06-01]. ISBN . Dostupné z: http://www.afag.com/fileadmin/user_upload/afag/Zufuehrtechnik_Komponenten/technische_Daten_14/11_technische_Daten_HLF.pdf
- [13] Mašín, I., a kol.: *Product Lifecycle Management*, TU Liberec, 2012
- [14] Mašín, I., Ševčík, L.: *Metody inovačního inženýrství*, Institut technologií a managementu, 2006